

**Dans quelle mesure l'utilisation de GeoGebra aide-t-elle les élèves
à passer d'une géométrie perceptive à une géométrie
instrumentée ?**

Mémoire professionnel

Bachelor of arts en enseignement pour le degré primaire (profil 5-8)

Juin 2024

Travail de

Julie ANSERMET et Claude-Alain BALMER

Sous la direction de

Jana TRGALOVA

Membre du jury

Audrey DAINA

Résumé

Notre mémoire explore l'impact de l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique GeoGebra sur l'apprentissage de la géométrie chez des élèves de 6P dans le canton de Vaud, en Suisse.

Nous nous sommes essentiellement concentrés sur la transition des élèves d'une géométrie perceptive à une géométrie instrumentée. La recherche a été structurée autour d'une séquence d'enseignement intégrant GeoGebra dans le but de permettre aux élèves de manipuler des figures géométriques et de visualiser leurs propriétés dynamiquement.

Nos hypothèses suggèrent que GeoGebra facilite la déconstruction dimensionnelle des figures, permettant aux élèves de réfléchir non pas en termes de formes, mais en termes d'assemblages et de relations entre lignes et points. De manière similaire, nous supposons que le logiciel favorise la capacité des élèves à raisonner en termes de propriétés géométriques et à les vérifier à l'aide d'instruments numériques ou traditionnels.

Le cadre théorique aborde les notions de géométrie perceptive et instrumentée, ainsi que l'introduction à la géométrie dynamique par l'usage de GeoGebra. Nous avons examiné comment ces outils numériques peuvent transformer l'enseignement de la géométrie en rendant l'apprentissage plus interactif et en engageant directement les élèves dans l'exploration de concepts géométriques.

L'expérimentation a été réalisée sans groupe témoin, en utilisant une méthode quasi-expérimentale. Les résultats et nos analyses indiquent une amélioration dans la capacité chez les élèves à reconnaître et manipuler des figures géométriques après l'intervention avec GeoGebra. Toutefois, les limites de notre recherche, notamment la taille réduite de l'échantillon et l'absence d'un groupe témoin, nécessiteraient des recherches plus approfondies pour confirmer ces résultats.

En conclusion, nous espérons que notre mémoire, consolidé avec d'autres études, pourrait contribuer à une intégration plus systématique des nouvelles technologies dans l'éducation géométrique et encourager nos collègues enseignants à adopter ces outils pour enrichir leur enseignement et les apprentissages dans leurs classes.

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	4
2	CADRE THÉORIQUE.....	5
2.1	La géométrie.....	5
2.1.1	<i>Connaissances spatiales et connaissances géométriques.....</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>La géométrie physique et théorique et les paradigmes géométriques.....</i>	<i>6</i>
2.1.3	<i>La déconstruction dimensionnelle.....</i>	<i>9</i>
2.1.4	<i>La distinction entre le dessin et la figure.....</i>	<i>10</i>
2.1.5	<i>Le Plan d'études romand.....</i>	<i>11</i>
2.1.6	<i>Les difficultés en géométrie pour les élèves.....</i>	<i>12</i>
2.2	Le numérique.....	15
2.2.1	<i>La géométrie dynamique.....</i>	<i>15</i>
2.2.2	<i>GeoGebra.....</i>	<i>16</i>
2.2.3	<i>La genèse instrumentale.....</i>	<i>18</i>
2.3	Synthèse.....	21
3	PROBLÉMATIQUE.....	22
3.1	Question de recherche.....	22
3.2	Hypothèses.....	22
4	EXPÉRIMENTATION.....	25
4.1	Méthodologie.....	25
4.2	Terrain expérimental.....	26
4.3	Pré-test.....	27
4.3.1	<i>Conception et analyse a priori.....</i>	<i>27</i>
4.3.2	<i>Conditions de passation et analyse a posteriori.....</i>	<i>33</i>
4.4	Intervention.....	42
4.4.1	<i>Conception et analyse a priori.....</i>	<i>42</i>
4.4.2	<i>Déroulement effectif.....</i>	<i>50</i>
4.4.3	<i>Analyse a posteriori.....</i>	<i>53</i>
4.5	Post-test.....	58
4.5.1	<i>Déroulé du post-test.....</i>	<i>58</i>
4.5.2	<i>Analyse a posteriori.....</i>	<i>58</i>
4.6	Confrontation pré-test / post-test.....	61

5	DISCUSSION	65
5.1	Évaluation des hypothèses	65
5.2	Difficultés rencontrées.....	67
5.3	Apports et limites	69
5.4	Perspectives.....	70
6	CONCLUSION	72
7	BIBLIOGRAPHIE	75
8	ANNEXES	78
8.1	Annexe 1 : Evaluation diagnostique.....	78
8.2	Annexe 2 : Fiches de l'élève pour la leçon 1	80
8.3	Annexe 3 : Fiches de l'élève pour la leçon 2	85

Conformément à l'article 19 al. 1 de la directive 05_05 exigeant que toute utilisation d'une IA générative soit explicitement mentionnée, nous souhaitons préciser que nous avons utilisé ChatGPT pour réviser notre rédaction. Les suggestions fournies par cette IA générative nous ont permis d'améliorer la structure du texte dans le but d'assurer sa clarté et sa précision, ce qui a contribué à l'amélioration globale du document. Toutefois, nous tenons à souligner que le contenu, la nature du texte, les arguments présentés, les analyses, les données et les références bibliographiques demeurent exclusivement de notre responsabilité.

1 INTRODUCTION

À l'ère de l'information, où la technologie redéfinit les frontières de notre quotidien, repenser les méthodes éducatives pour les adapter à ce nouveau paradigme est un réel sujet d'actualité. Dans ce contexte, notre mémoire, rédigé par un binôme d'étudiants issus de générations différentes, vise à explorer les possibilités d'intégration des outils numériques dans l'enseignement. Claude-Alain, appartenant à la génération X (1965 à 1980), a vécu les débuts de l'ordinateur personnel et a une carrière dans les technologies de l'information, tandis que Julie, de la génération Z (1997 à 2012), a grandi entourée de téléphones portables, de réseaux sociaux et de nouvelles technologies. Nous avons fréquemment débattu sur notre rôle d'enseignants et notre devoir de former la jeune génération à l'utilisation des outils numériques. Nous sommes convaincus que la maîtrise des outils numériques constitue une compétence fondamentale pour les futures générations, un élément par ailleurs pleinement intégré au Plan d'étude Romand depuis 2021 par la Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse Romande et du Tessin (CIIP, 2021). Ce dernier préconise un apprentissage à la fois du numérique et par le numérique, démontrant son importance transversale dans toutes les disciplines. Cependant, malgré cette injonction institutionnelle, nous avons observé lors de nos stages sur le terrain que l'application pratique de l'éducation numérique reste limitée, notamment en géométrie, où les élèves rencontrent des défis significatifs lors du passage du premier au deuxième cycle. Cette observation nous a poussés à choisir ce thème pour notre mémoire afin d'explorer et de mieux comprendre si les nouvelles technologies peuvent effectivement améliorer la compréhension et les compétences géométriques des élèves, facilitant ainsi cette transition entre les deux cycles.

Nous avons structuré notre mémoire en plusieurs sections principales. Tout d'abord, le cadre théorique dans lequel nous présentons les concepts clés et les fondements de notre recherche, notamment la géométrie perceptive et instrumentée ainsi que l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique GeoGebra. Ensuite, nous abordons la problématique avec notre question de recherche et les hypothèses formulées. Puis nous détaillons l'expérimentation en décrivant la méthodologie, le terrain expérimental, et les résultats des pré-tests et post-tests. Enfin, nous terminons notre mémoire avec la discussion qui évalue les hypothèses, les difficultés rencontrées, les apports et les limites de l'étude, suivie des perspectives pour de futures recherches.

2 CADRE THÉORIQUE

2.1 La géométrie

La géométrie, telle que définie par le dictionnaire Robert (s.d.) comme une science des figures dans l'espace, a des racines profondes remontant aux anciens Égyptiens et Babyloniens, d'après le site maths-et-tiques (s.d.). Ces civilisations exploitaient des principes géométriques pour répondre à des besoins pratiques, notamment le traçage des terres après les inondations du Nil. L'école d'Alexandrie, avec des figures comme Euclide et son œuvre "Les éléments", a joué un rôle crucial dans le développement de la géométrie, qui a influencé la pensée scientifique pendant deux millénaires. L'arrivée de la Renaissance a introduit la géométrie projective, essentielle pour les innovations en peinture et architecture, illustrée par les techniques de perspective de Brunelleschi et Piero della Francesca. Néanmoins, comme le note Techno-Science (s.d.), l'évolution des méthodes d'analyse complexifie la définition de la géométrie, étendant son domaine bien au-delà des simples relations spatiales pour englober des concepts plus avancés et variés développés au fil du temps.

2.1.1 Connaissances spatiales et connaissances géométriques

Dans le cadre de leur thèse, Berthelot et Salin (1992) ont identifié deux champs de connaissances, faisant partie intégrante de l'enseignement de la géométrie au primaire : les connaissances spatiales et les connaissances géométriques.

Les connaissances spatiales permettent de contrôler les relations avec l'espace sensible, impliquant la reconnaissance, la description, la fabrication, ou la transformation d'objets et d'espaces de vie. Elles se développent dès l'enfance, par l'interaction avec l'environnement matériel et social, incluant des activités physiques et tactiles comme attraper un verre, et leur apprentissage continue à l'adolescence et à l'âge adulte. De ce fait, les connaissances spatiales sont déjà présentes chez l'enfant avant le début de la scolarité. Ces connaissances sont influencées par la culture et varient selon les champs d'activité, sans une organisation stricte comparée aux connaissances géométriques.

Les connaissances géométriques, quant à elles, se concentrent sur le raisonnement autour des propriétés des objets géométriques. Elles nécessitent un enseignement spécifique, car elles ne peuvent pas être acquises intuitivement et ne sont pas présentes chez l'enfant lors de son entrée à l'école. La géométrie met l'accent sur la nécessité de certaines propriétés, l'organisation non contradictoire des objets, et se pratique dans un contexte qui transcende l'espace sensible, vers une communauté scientifique abstraite ou simulée. Le vocabulaire géométrique est bien défini

et s'appuie sur des concepts tels que cercles, figures, et segments, organisés de manière précise à travers des définitions, axiomes, et théorèmes.

Berthelot et Salin (1992) illustrent ces deux types de connaissances à travers l'histoire d'un vitrier qui doit reproduire un parallélogramme afin de découper une vitre adaptée à la fenêtre d'un de ses clients. En exploitant des connaissances spatiales, il mesure précisément les dimensions de la fenêtre et crée un cadre en bois correspondant qui, dans un deuxième temps, lui servirait de guide pour découper la vitre à la bonne taille. Toutefois, en s'appuyant sur des connaissances géométriques, il pourrait se servir des propriétés géométriques du parallélogramme pour résoudre le problème.

C'est l'utilisation des deux types de connaissances qui permet de résoudre le problème, et de ce fait on peut affirmer qu'ils sont souvent complémentaires. En effet, Berthelot et Salin introduisent le terme de connaissances "spatio-géométriques" comme étant les connaissances géométriques utilisées dans la résolution de certains problèmes de l'espace. Salin (2014) relève que ces types de problèmes ne sont que peu présents dans l'enseignement au primaire ou au secondaire, ce qui constitue une lacune regrettable, compte tenu de leur pertinence dans divers contextes professionnels, comme dans les métiers du bâtiment. Ces situations donnent en effet l'opportunité aux élèves d'appliquer la discipline de la géométrie de manière très concrète et tangible.

Après avoir exploré les principales différences entre les connaissances spatiales et géométriques, nous allons analyser la distinction entre géométrie physique et théorique. Cette compréhension est importante à ce stade, car notre travail de recherche se focalise essentiellement sur la géométrie physique.

2.1.2 La géométrie physique et théorique et les paradigmes géométriques

La géométrie physique et théorique

Amadori et Hairon (2018) mettent en avant la dualité entre la géométrie physique et la géométrie théorique. Dans leur exploration, les auteures exposent la géométrie physique comme un domaine où l'exploration concrète des figures géométriques prévaut avec comme objectif la validation des propriétés des figures géométriques à l'aide d'instruments, ce qui implique des procédures matérielles. L'apprentissage de la géométrie physique est articulé en deux étapes : la première étape se concentre sur la reconnaissance perceptive des formes et l'introduction d'un vocabulaire précis, tandis que la deuxième étape concerne l'identification de propriétés pouvant être vérifiées à l'aide d'instruments.

La géométrie théorique, comme son nom l'indique, repose sur l'énoncé de concepts et de propositions sans recourir à des objets matériels. La validation des propriétés géométriques s'opère par des démonstrations qui sont basées sur la manipulation d'énoncés. Cette étape constitue la dernière phase de l'apprentissage de la géométrie et se déroule avec des élèves plus âgés, généralement entre 12 et 15 ans.

Nous allons maintenant examiner les paradigmes géométriques et comprendre de quelle manière ils influencent l'enseignement de la géométrie et à quel point leur compréhension par les enseignants est cruciale pour que les apprentissages soient efficaces.

Les paradigmes géométriques

Comme le soulignent Houdement et Kuzniak (2013), il est essentiel que les enseignants comprennent les paradigmes géométriques pour dispenser un enseignement efficace en géométrie. En effet, sans une compréhension approfondie des enjeux géométriques à différents niveaux scolaires, les enseignants pourraient rencontrer des difficultés à expliquer les différentes notions de manière à ce que les élèves puissent les comprendre et les intégrer.

Le terme "paradigme" est généralement associé à un modèle de pensée accepté par un groupe de scientifiques. Dans ce contexte spécifique, il caractérise également des exemples significatifs fournis aux élèves, leur permettant ainsi de se familiariser avec les paradigmes géométriques de manière globale. En effet, le terme unique de "géométrie" englobe les trois paradigmes géométriques globaux suivants :

La géométrie I, aussi désignée sous le nom de "géométrie naturelle", repose sur la relation et la perception du réel, touchant à ce qui est sensible et omniprésent, puisque les validations se déroulent de cette manière. Cependant, même en travaillant avec des objets du monde réel, un certain degré d'abstraction subsiste, principalement à travers l'utilisation de schémas tels que des carrés, des rectangles, des cercles, etc. Cette approche géométrique est technologique et axée sur l'expérience mécanique. Elle privilégie la manipulation comme le pliage, le découpage, et l'utilisation d'instruments et de matériel tel le papier pour valider les hypothèses.

La géométrie II se fonde sur des lois hypothético-déductives au sein d'un système axiomatique précis, où les axiomes sont choisis pour organiser les connaissances géométriques issues de problèmes spatiaux. Elle reste dans le cadre de la géométrie euclidienne et traite donc du plan et de l'espace. Les connaissances géométriques travaillées émergent de problèmes spatiaux. Ainsi, le lien avec la réalité est significatif, et par conséquent, les principes énoncés ainsi que le langage utilisé renvoient à la réalité. C'est pour ces raisons que le terme "naturelle" est employé.

Houdement (2009) résume les différences entre géométrie I et géométrie II ainsi (Tableau 1) :

	Géométrie I	Géométrie II
Mesurage	Licite et producteur de connaissances	Illicite pour la production, licite pour l'heuristique
Statut du dessin	Objet d'étude et de validation	Outil heuristique, support du raisonnement.
Preuve	Évidence, contrôle par instrument (dont la fonction "drag" des logiciels dynamiques) ou construction effective avec raisonnement	Axiomatisation partielle. Propriétés, théorèmes et "îlots de démonstration"

Tableau 1 Différence entre Géométrie I et Géométrie II, (Houdement, 2009, p. 442)

La géométrie III ou géométrie axiomatique formaliste, notamment dans sa version non euclidienne, rompt tout lien avec la réalité, les objets étant uniquement définis par la théorie et les axiomes reposant entièrement sur le raisonnement logique. Cette géométrie est issue de l'émergence des géométries non euclidiennes, n'est que très peu présente dans l'enseignement obligatoire et se focalise sur un raisonnement hypothético-déductif avancé.

Ces divers paradigmes illustrent la diversité et l'évolution de la géométrie et soulignent l'importance d'adapter le raisonnement et les méthodes d'enseignement. En effet, une compréhension approfondie des composantes géométrie I, II et III permettra à l'enseignant de naviguer entre les paradigmes pour ajuster son approche à la situation d'enseignement, par exemple en utilisant des méthodes expérimentales de la Géométrie I pour concevoir des solutions et employer un raisonnement hypothético-déductif de la Géométrie II pour formaliser ces solutions.

[La géométrie perceptive et instrumentée](#)

Considérant la variété des paradigmes en géométrie, il semble nécessaire d'adopter une approche progressive dans son enseignement. Lors d'une conférence, Charnay (2013) expose les méthodes d'enseignement de la géométrie du premier au troisième cycle, abordant les approches, les différences et les contextes spécifiques à chaque cycle.

Au cycle un, l'enseignement de la géométrie adopte une approche dite "perceptive" (la géométrie perceptive). Cette méthode utilise des objets du quotidien, tels qu'un morceau de carrelage pour représenter un carré, afin d'illustrer les formes géométriques. Des outils simples comme une feuille de papier sont également employés pour mesurer les grandeurs des formes.

À ce stade, les propriétés des figures géométriques ne sont pas encore formellement énoncées. Selon Duval et Godin (2005), l'élève qui analyse une figure va se baser, dans un premier temps, sur sa perception. L'analyse va donc se faire en fonction des formes et des propriétés visuelles de ces formes.

Au cycle deux, cette perspective perceptive évolue vers une approche "instrumentée" (la géométrie instrumentée). La perception initiale permet d'émettre des hypothèses sur la nature des figures géométriques et ces hypothèses sont ensuite validées ou non par des instruments. Les élèves commencent à comprendre les propriétés et les relations géométriques telles que la symétrie, la perpendicularité, l'angle droit, etc. Ils commencent également à se familiariser avec l'utilisation d'outils tels que l'équerre ou le compas.

Enfin, la géométrie déductive, qui intervient en fin de troisième cycle, exige une rigueur où toute propriété géométrique doit être formellement démontrée pour être considérée comme vraie. Contrairement à la géométrie perceptive, où les objets géométriques ne sont pas encore caractérisés par des propriétés spécifiques, la géométrie instrumentée et la géométrie déductive se concentrent sur leur vérification et leur démonstration. Dans la géométrie instrumentée, ces propriétés sont validées à l'aide d'instruments, tandis que dans la géométrie déductive, elles sont prouvées par un raisonnement déductif. Pour passer d'une observation en géométrie perceptive à une affirmation en géométrie déductive, il est nécessaire de fournir des preuves ou des justifications concrètes qui confirment ou démontrent cette propriété.

Après avoir exploré les diverses facettes et approches de la géométrie, nous allons maintenant nous pencher sur une notion clé dans l'apprentissage de cette discipline : la déconstruction dimensionnelle. Ce concept joue un rôle crucial dans la manière dont les élèves perçoivent et comprennent les figures géométriques.

2.1.3 La déconstruction dimensionnelle

La déconstruction dimensionnelle est un concept fondamental dans l'apprentissage de la géométrie. Comme le soulignent Duval et Godin (2005), ce concept fait référence au processus pour passer d'une forme en 2D en un assemblage d'éléments en 1D comme des droites ou en 0D comme des points. Les auteurs expliquent que la perception d'une figure plane en 2D est basée sur les contours et la surface de cette forme. Afin de comprendre les propriétés géométriques d'une figure, il faut décomposer la forme en lignes et en points et ensuite analyser les relations entre ces différents éléments. Pour cela, les élèves doivent posséder une solide connaissance des propriétés des figures et comprendre les relations spatiales qui déterminent comment les éléments de la figure sont disposés les uns par rapport aux autres. Ces

connaissances permettront ensuite d'analyser les figures d'un point de vue de la géométrie et non sur la base de leur aspect visuel en deux dimensions. La déconstruction dimensionnelle joue un rôle clé dans la transition de l'enseignement primaire, où les élèves apprennent la représentation visuelle des formes géométriques, vers une compréhension analytique des figures et de leurs relations à travers des propriétés. Cependant, un point important à noter est la complexité cognitive requise par ce processus. C'est pour cela que c'est une démarche exigeante en temps et qui se déroule souvent sur plusieurs années.

Duval et Godin (2005) insistent également sur l'importance cruciale des divers outils mobilisés dans l'analyse ou la construction de figures géométriques. Ces derniers contribuent activement au processus de déconstruction dimensionnelle et se divisent en deux catégories principales (Figure 1) : d'une part, ceux facilitant les manipulations concrètes, tels que les pièces de puzzle, le papier ou les empreintes, et d'autre part, ceux destinés au traçage graphique, comme l'équerre, la règle ou le compas.

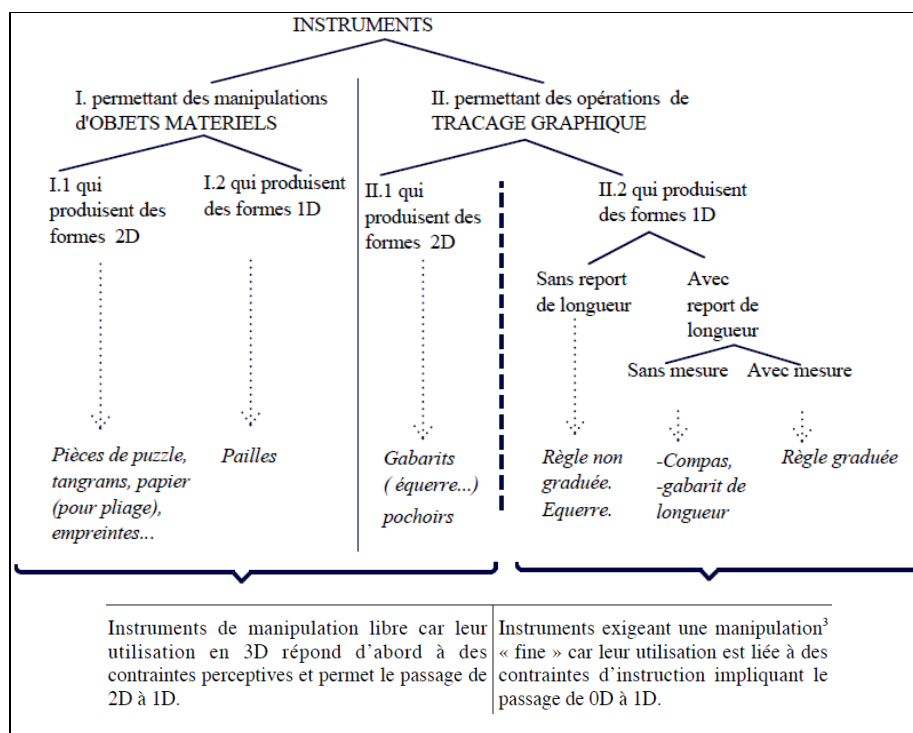


Figure 1 Classification des instruments de construction ou de production de formes (Duval et Godin, 2005, p. 12)

Les instruments doivent donc être sélectionnés soigneusement et judicieusement afin qu'ils puissent remplir leur rôle et contribuer favorablement au processus de déconstruction dimensionnelle chez l'élève.

2.1.4 La distinction entre le dessin et la figure

Laborde et Capponi (1994) définissent le dessin comme étant le signifiant, la face matérielle perçue, d'un référent théorique tel l'objet d'une théorie géométrique. La figure géométrique,

quant à elle, est définie par l'appariement d'un objet théorique donné à tous ses dessins. Autrement dit, le dessin correspond à toute marque visuelle (dans le sable, sur papier, ou via un logiciel), tandis que la figure est un concept abstrait, défini par des propriétés géométriques. La figure est une notion conceptuelle, mentale, qui peut être représentée de différentes manières, y compris par des descriptions textuelles ou des dessins.

Dans le prochain chapitre, nous verrons comment le cadre éducatif, en Suisse et plus précisément dans les cantons Romands, structure l'enseignement de la géométrie.

2.1.5 Le Plan d'études romand

Dans le Plan d'études romand (PER) (CIIP, 2023), la géométrie s'inscrit dans le domaine disciplinaire des mathématiques et sciences de la nature, et plus précisément dans l'axe "Espace" du domaine des mathématiques. Les objectifs d'apprentissage sont divisés en trois parties distinctes associées directement aux trois cycles de l'enseignement obligatoire dans les cantons Romands de Suisse : MSN11, MSN21 et MSN31.

Au cycle I (MSN11), les objectifs d'apprentissage sont centrés sur l'exploration spatiale en faisant appel à la perception. Les situations d'apprentissage mettent l'accent sur la perception directe des objets de l'espace et des effets produits par leurs déplacements. L'objectif est de permettre aux élèves de décrire ou de reproduire des formes, des positions et des mouvements, ainsi que d'explorer l'espace d'un point de vue sensoriel, en développant une compréhension intuitive de concepts tels que la gauche et la droite.

Au Cycle II (MSN21), l'accent est mis sur la capacité à poser et à résoudre des problèmes visant à structurer le plan et l'espace, marquant une transition progressive vers l'utilisation des instruments de géométrie. À ce stade, l'introduction d'instruments comme la règle, l'équerre et le compas permet d'outiller la perception et d'offrir des moyens plus précis et fiables pour structurer l'espace. La distinction entre les concepts de géométrie en deux dimensions (2D) et en trois dimensions (3D) est clairement établie.

Enfin, le Cycle III (MSN31) se concentre sur la formulation et la résolution de problèmes destinés à modéliser le plan et l'espace, mettant en œuvre des notions de géométrie déductive. Cette étape introduit des concepts idéaux et théoriques pour représenter les objets dans l'espace, favorisant ainsi une compréhension plus profonde et formalisée de la géométrie (Mathé, Barrier & Perrin-Glorian, 2020).

Après avoir défini les objectifs d'apprentissage en géométrie selon le Plan d'études romand, nous abordons et analysons les défis rencontrés par les élèves dans ce domaine. La

compréhension de leurs difficultés est cruciale pour notre pratique pédagogique et nous orientera dans la construction de nos séquences d'enseignement pour répondre aux besoins spécifiques de nos élèves.

2.1.6 Les difficultés en géométrie pour les élèves

Une première difficulté en géométrie, comme le soulignent Perrin-Glorian, Mathé et Leclercq (2013), réside dans la transition de la géométrie perceptive, prédominante au cycle I en explorant l'espace à travers les sens, à la géométrie instrumentée, introduite au cycle II. Dans cette dernière, l'accent est mis sur les concepts théoriques et les propriétés géométriques, nécessitant l'usage d'instruments pour les vérifier. Le passage à la géométrie instrumentée marque un tournant significatif et représente un défi pour les élèves. Selon les auteurs, cette progression dans l'apprentissage de la géométrie est souvent vécue par les élèves comme une rupture brutale plutôt qu'une transition continue et fluide. L'enseignement de la géométrie reste principalement basé sur l'apprentissage du vocabulaire et la question des rapports entre les mathématiques et le monde réel, bien que particulièrement pertinente en géométrie, n'est que peu abordée. Même au début du cycle II, la géométrie est peu mise en application pour résoudre des problèmes concrets, bien que cette approche pourrait simplifier cette transition pour les élèves. Les nouveaux moyens d'enseignement Romands des mathématiques (CIIP, 2023) confirment que les difficultés rencontrées par les élèves lors de l'identification d'objets géométriques sont souvent enracinées dans les propriétés de la figure à identifier. Une des principales barrières est l'absence chez les élèves d'images mentales de référence, basées sur des propriétés géométriques, ce qui ne leur permet pas d'adopter une approche globale de reconnaissance. En conséquence, les élèves éprouvent régulièrement des difficultés à reconnaître une figure géométrique hors de sa configuration prototypique. Ainsi, un élève pourrait uniquement identifier un quadrilatère comme un carré s'il est positionné sur un de ses côtés ou ne percevoir la perpendicularité de deux droites que dans le cas où l'une serait verticale et l'autre horizontale. En outre, les élèves ont tendance à confondre la représentation d'un objet géométrique avec l'objet lui-même, ou même avec le terme désignant le concept, ce qui conduit à de nombreuses erreurs de reconnaissance.

La deuxième difficulté, étroitement liée à la transition entre géométrie perceptive et géométrie instrumentée est le rapport aux figures géométriques. Selon Duval (2005), l'élève est confronté à un conflit entre la pratique géométrique des figures et leur reconnaissance visuelle. Notre perception du monde réel est habituellement guidée par deux processus cognitifs qui fonctionnent simultanément : reconnaître des formes et identifier des objets à partir de ces

formes. Initialement, les élèves identifient les figures géométriques par leur ressemblance avec des formes familières, ce que Duval décrit comme la vision iconique de l'objet. Cependant, cette association directe n'existe pas lorsque les formes dessinées ne correspondent pas nécessairement aux objets qu'elles sont supposées représenter. Les élèves privilégient les figures 2D sur les 1D et éprouvent des difficultés à décomposer les formes en 2D en réseaux de formes en 1D. Similairement, les points, à l'exception des sommets des polygones, ne sont généralement reconnus que lorsqu'ils sont marqués spécifiquement. La déconstruction dimensionnelle (voir la section 2.1.1) s'oppose à la vision instinctive, iconique des formes.

Le choix et l'utilisation des instruments par l'élève sont une troisième difficulté. À travers un problème de restauration de figures, Perrin-Glorian, Mathé et Leclercq (2013) ont montré l'importance du lien direct entre l'outil utilisé par les élèves et leur perception des figures géométriques ainsi que leur compréhension des propriétés géométriques.

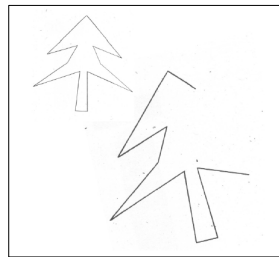


Figure 2 Tâche du sapin : compléter la figure pour reconstituer le sapin (Perrin-Glorian, Mathé et Leclercq, 2013, p. 28)

La tâche du sapin, illustrée par la Figure 2, est un exercice de symétrie orthogonale. Elle consiste à compléter une figure pour reconstituer le sapin en entier, comme présenté par le modèle. Ce dernier, ainsi que le sapin à restaurer, sont à des échelles différentes pour éviter que les élèves ne puissent reporter directement les longueurs. Dans cette tâche, les élèves devront utiliser divers instruments de géométrie pour compléter la figure. Certains outils, comme le gabarit, le chablon ou le papier calque, nécessiteront de passer par l'espace, tandis que d'autres, comme la règle, leur permettront de tracer les segments directement sans représentation spatiale.

Si les connaissances des propriétés géométriques ne sont pas acquises et qu'un instrument spécifique est imposé, les élèves rencontreront des difficultés. Les moyens d'enseignement des mathématiques Romands (CIIP, 2023) rendent également les enseignants attentifs à un problème fréquent : le choix inapproprié de l'outil pour vérifier les propriétés des figures ou une utilisation incorrecte de celui-ci. Un exemple courant est l'ignorance du point de départ de la graduation zéro sur une règle graduée, ce qui peut fausser la compréhension et l'analyse de la figure. Dans ce contexte, une proposition intéressante faite par Duval (2005) suggère quatre

approches classiques de l'apprentissage de la géométrie à travers des activités utilisant des figures géométriques et divers instruments (Tableau 2) : le "botaniste" qui se concentre sur la reconnaissance et la nomination des formes visuelles ; l' "arpenteur-géomètre" axé sur la mesure des longueurs et des distances ; le "constructeur" qui implique la construction de figures à l'aide d'instruments, soulignant l'importance des propriétés géométriques comme contraintes de construction ; et l' "inventeur-bricoleur" qui explore la déconstruction dimensionnelle et la transformation des formes pour résoudre des problèmes, nécessitant la réorganisation visuelle des figures de départ. Ces approches révèlent différentes manières de percevoir et d'interagir avec les formes géométriques, mettant en lumière la complexité et la diversité des processus cognitifs en jeu dans l'apprentissage de la géométrie.

	BOTANISTE	ARPEUTEUR- géomètre	CONSTRUCTEUR	INVENTEUR- bricoleur
1. Type d'opération sur les FORMES VISUELLES , requis par l'activité proposée	Reconnaître des formes à partir de qualités visuelles d'un contour : UNE forme particulière est privilégiée comme TYPIQUE	Mesurer les bords d'une surface : sur un TERRAIN ou sur un DESSIN (variation d'échelle de grandeur et donc de procédure de mesure)	Décomposer une forme en tracés constructibles à l'aide d'un instrument Il faut (souvent) passer par des TRACÉS AUXILIAIRES qui n'appartiennent pas à la figure " finale".	Transformer des formes les unes dans les autres . Il faut ajouter des TRACÉS REORGANISATEURS dans la figure finale pour initialiser ces transformations
2. Comment les PROPRIETES GEOMETRIQUES sont mobilisées par rapport à ce type d'opération	Pas de liens entre les différentes propriétés (pas de définition mathématique possible)	Les propriétés sont des critères de choix pour les mesures à faire. Elles ne sont utiles que si elles renvoient à <i>une formule permettant un calcul</i>	Comme contraintes d'un ordre de construction . Certaines propriétés sont obtenues par une seule opération de traçage , les autres exigent plusieurs opérations.	Implicitement par renvoi à un réseau plus complexe (une trame de droites pour la géométrie plane ou une trame d'intersections de plans...) que la figure de départ

Tableau 2 Quatre entrées classiques dans la géométrie (Duval, 2005, p.9)

Les représentations langagières sont une quatrième difficulté dans l'apprentissage de la géométrie. Les nouveaux moyens d'enseignement des mathématiques Romands (CIIP, 2023) mettent en évidence que certains élèves peinent à assimiler le vocabulaire spécifique de la discipline. Par exemple, ils confondent souvent les termes "parallèles" et "perpendiculaires". La polysémie du vocabulaire engendre également des difficultés, avec des élèves qui perçoivent le sommet d'un triangle uniquement comme le point situé "en haut" sur la représentation graphique. De plus, certains élèves font une distinction entre un trait "droit" et un trait "penché", considérant le trait "droit" comme étant parallèle au bord de la feuille.

Également liée au langage, Perrin-Glorian (2005) identifie une difficulté supplémentaire, qui elle est liée à l'approche non problématisée de l'enseignement du vocabulaire géométrique. Ce

dernier se limite fréquemment à des termes désignant quelques objets dans l'espace, tels que les surfaces planes et les figures ou relations géométriques (point, droite, segment, etc.). Le fait de ne pas lier le vocabulaire à la résolution de problèmes ne favorise pas la compréhension des concepts géométriques chez les élèves. L'auteure souligne également que dans le domaine de la géométrie, la résolution de problèmes se fait souvent par ostension, les figures sont reconnues par les élèves, mais ne sont que rarement utilisées pour résoudre des problèmes. Toutefois, les nouveaux moyens d'enseignement Romands intègrent de manière systématique l'apprentissage de la géométrie à la résolution de problèmes. Ils soulignent que les principales difficultés rencontrées dans ce contexte sont liées à l'élaboration d'un schéma qui intègre les éléments clés nécessaires à l'identification du modèle mathématique approprié.

Les difficultés rencontrées par les élèves dans l'apprentissage de la géométrie nous amènent naturellement à considérer l'impact potentiel des outils numériques. La géométrie dynamique, comme prochain chapitre dans notre mémoire, offre une perspective intéressante sur l'enseignement et l'apprentissage de cette discipline.

2.2 Le numérique

2.2.1 La géométrie dynamique

La géométrie dynamique est une approche de l'enseignement des mathématiques qui utilise des logiciels interactifs pour explorer et manipuler des objets géométriques en temps réel. Contrairement à la géométrie statique traditionnelle, où les figures sont figées, la géométrie dynamique permet aux utilisateurs de déplacer des points, de modifier des dimensions et d'observer instantanément les effets de ces changements, tout en préservant les propriétés géométriques initiales. Cette méthode offre une expérience d'apprentissage plus interactive, aidant les élèves à visualiser et à comprendre les concepts géométriques de manière plus concrète et intuitive.

Les logiciels de géométrie dynamique (LGD) sont des outils puissants qui facilitent la création, la manipulation et l'interaction avec des constructions géométriques. En permettant aux élèves d'expérimenter avec des objets tels que les cercles, les droites et les segments, ces logiciels enrichissent l'enseignement des mathématiques en soutenant la visualisation directe des phénomènes. Ils permettent également de réaliser des simulations et de créer une grande variété de formes géométriques, offrant ainsi des possibilités étendues pour l'exploration et l'apprentissage (Ministère de l'éducation nationale, 2018).

2.2.2 GeoGebra

GeoGebra a été créé en 2002 par Marcus Hohenwarter, un enseignant de mathématiques autrichien (Laurens, 2021). Actuellement, GeoGebra est un des logiciels de géométrie dynamique les plus populaires dans le domaine de l'enseignement. Le logiciel propose plusieurs applications chacune spécialisée dans un domaine des mathématiques, par exemple la géométrie, l'algèbre, le calcul. GeoGebra est un logiciel open source de ce fait gratuit à utiliser. Le logiciel peut être installé sur diverses plates-formes, et ordinateurs avec Microsoft Windows, Mac OS ou Linux, ou sur des tablettes tournant sous iOS ou Android. Ainsi, GeoGebra offre une grande flexibilité d'utilisation et peut être utilisé de manière large dans l'enseignement des mathématiques.

Ce logiciel de géométrie dynamique présente de nombreux avantages pour les apprentissages des élèves. Dans notre travail de mémoire, nous avons axé notre approche au logiciel par la réalisation de figures géométriques en tant que constructions robustes. Il s'agit, par ailleurs, de l'approche privilégiée dans l'enseignement quant à l'utilisation de logiciels de géométrie dynamique (Soury-Lavergne, 2011). Les apports et inconvénients des constructions robustes et des constructions molles sur GeoGebra ont été développés dans un article de Soury-Lavergne (2011) sur lequel nous nous sommes appuyés pour les choix de notre séquence et que nous détaillons ci-dessous. L'auteur illustre une construction robuste (Figure 3) par une figure de triangle inscrit dans un cercle, où la propriété de l'angle droit est conservée, à condition que l'un des côtés du triangle soit le diamètre du cercle. Le déplacement du sommet M du triangle sur le cercle vérifie ainsi la validité de cette propriété géométrique. Une construction molle (Figure 4) est exemplifiée avec un triangle dont un côté est le diamètre du cercle et le troisième sommet est à l'extérieur du cercle, invitant les élèves à explorer différentes positions pour trouver quand l'angle devient obtus, aigu ou droit, mettant en évidence la relation entre les hypothèses et la conclusion par l'expérimentation et la manipulation.

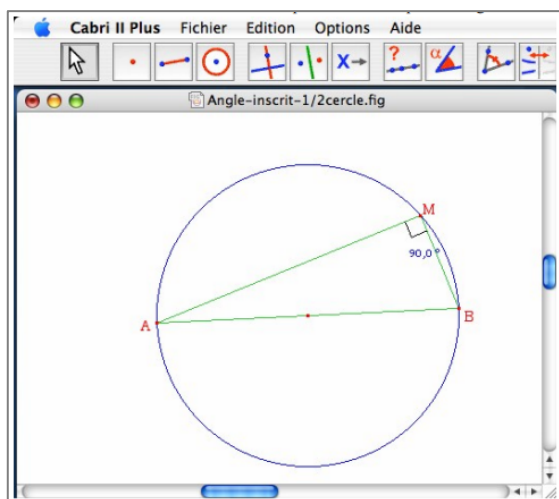


Figure 3 Construction robuste (Soury-Lavergne, 2011, p.3)

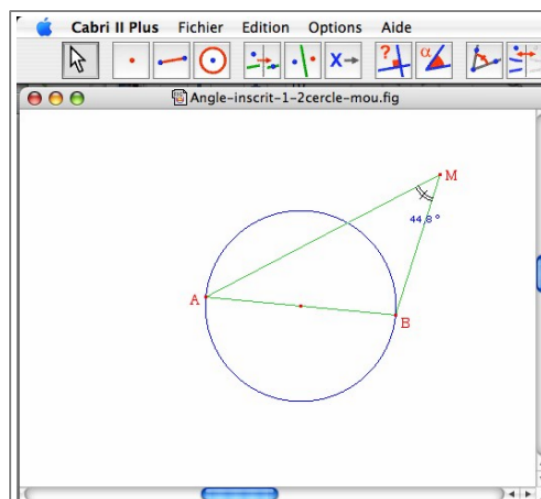


Figure 4 Construction molle (Soury-Lavergne, 2011, p.3)

Les constructions robustes offrent une stabilité mathématique qui permet aux élèves de visualiser et de comprendre les propriétés comme des invariants malgré les déplacements des points dans une figure en la plaçant dans des positions non prototypiques. Dans le contexte de GeoGebra, les constructions robustes sont particulièrement utiles pour illustrer des théorèmes ou des propriétés géométriques, assurant que le déplacement des points ne compromet pas la validité du résultat. Cela offre aux élèves une expérience visuelle cohérente et la possibilité de s'autoévaluer en vérifiant la conservation des caractéristiques de la figure lors de déplacements. De plus, le déplacement est aussi un moyen pour valider ou invalider la construction de la figure robuste.

Cependant, il est essentiel de noter que l'accent sur les constructions robustes peut parfois restreindre la créativité et l'initiative des élèves. En se concentrant sur des figures préétablies, les élèves pourraient manquer l'occasion d'explorer des configurations non conventionnelles ou de formuler des conjectures de manière plus libre.

À l'inverse, les constructions molles, bien que moins fréquentes, offrent des avantages distincts. Elles permettent aux élèves de participer activement à la recherche et à la formulation de conjectures. En manipulant les points dans des figures molles, les élèves peuvent expérimenter la relation dynamique entre les hypothèses et la conclusion, favorisant une exploration plus libre et une meilleure compréhension des liens causaux entre les objets géométriques. L'utilisation de constructions molles peut également aider les élèves à développer leur capacité à distinguer les propriétés géométriques nécessaires de celles qui ne le sont pas. En manipulant les figures de manière plus flexible, les élèves sont confrontés à des situations où certaines hypothèses peuvent être temporaires ou contingentes, les amenant à réfléchir sur la nécessité des conditions énoncées initialement dans un théorème donné.

Pour intégrer pleinement les avantages de l'utilisation de GeoGebra dans l'enseignement de la géométrie, les enseignants doivent être conscients de la diversité des approches possibles. L'utilisation judicieuse de ces deux types de constructions peut enrichir l'expérience d'apprentissage des élèves en offrant une variété d'occasions pour explorer, conjecturer, valider et invalider des propriétés géométriques. Dans notre expérimentation, nous utiliserons des constructions robustes et molles pour mieux comprendre leur impact sur l'apprentissage des élèves en géométrie. Notamment, nous examinerons deux cas spécifiques : un carré robuste, qui conserve ses propriétés, quelles que soient les manipulations, et un losange robuste qui, sous certaines conditions, peut être transformé en un carré mou.

Après cette section sur GeoGebra et ses implications pédagogiques, nous allons nous pencher sur le concept de la genèse instrumentale. Dans le cadre de notre travail, nous cherchons à saisir comment la technologie, et GeoGebra en particulier, peut devenir un instrument pour les élèves, facilitant ainsi leur apprentissage de la géométrie.

2.2.3 La genèse instrumentale

La genèse instrumentale est un concept que Rabardel (1995) décrit comme étant le processus par lequel un artefact devient un instrument à travers son utilisation par un sujet dans une situation d'activité. Toutefois, avant de détailler le concept de genèse instrumentale, nous allons définir les termes "artefact" et "instrument".

Le terme "artefact", défini comme "toute chose ayant subi une transformation, même minime, d'origine humaine" (Rabardel, 1995, p. 49), est choisi par l'auteur en raison de sa neutralité, car il ne spécifie pas un type de rapport particulier à l'objet. Un artefact, lorsqu'il est utilisé par un sujet pour répondre à un problème dans un contexte social et culturel, devient un instrument. Rabardel précise que le terme "instrument" désigne un artefact en action, manipulé par un sujet. Le rapport que le sujet entretient avec l'artefact, et son utilisation pour accomplir une tâche spécifique dans un contexte donné le transforme en instrument. Cette transformation est dynamique et évolutive : le sujet s'approprie l'artefact et ajuste constamment son utilisation afin de la rendre plus efficace.

Le concept de genèse instrumentale s'inscrit dans le prolongement de l'approche vygostkienne qui stipule que les apprentissages et le développement des fonctions psychiques sont générés par l'appropriation d'outils sémiotiques avec le guidage d'un expert (Rocher, 2017). Rabardel étend cette idée, affirmant que l'instrument n'existe qu'à travers l'usage que le sujet en fait, soulignant l'importance de l'activité du sujet dans l'attribution de la fonction et de l'efficacité à l'artefact.

Toutefois, l'auteur affirme qu'un artefact seul n'est pas un instrument achevé. C'est l'interaction entre l'utilisateur et l'artefact, dans un usage précis visant à atteindre un but spécifique, qui est le cœur du concept de la genèse instrumentale. L'instrument n'existe réellement que dans le contexte de cette interaction, où les artefacts, en fonction de leur utilisation et du contexte, peuvent assumer diverses fonctions. Il est donc important d'identifier les différents "schèmes d'utilisation", terme par lequel Rabardel désigne les différents usages que le sujet fait de l'artefact, permettant à ce dernier de devenir un instrument pleinement fonctionnel.

L'instrumentalisation et l'instrumentation

L'instrumentalisation et l'instrumentation sont des processus interdépendants, qui, ensemble, contribuent au processus de la genèse instrumentale.

L'instrumentalisation désigne le processus par lequel le sujet choisit, modifie et ajuste un artefact de manière spécifique afin qu'il réponde à des objectifs précis, le transformant ainsi en un instrument. Il s'agit donc d'une transformation, tant dans sa nature que dans son utilisation.

L'instrumentation, quant à elle, concerne le développement ou l'évolution des schèmes d'utilisation par le sujet. Autrement dit, la manière dont le sujet apprend à utiliser l'artefact, idéalement toujours plus efficacement, voire de manière plus innovante. Cet aspect de la genèse instrumentale est étroitement lié au sujet lui-même, à la façon dont il fait usage de l'artefact et qu'il développe ses compétences ou élabore des stratégies. Comme dans l'approche vygostkienne, cette évolution nécessite parfois l'aide ou l'intervention d'un guide, d'un expert qui est familier avec le schème d'utilisation (Rocher, 2017).

Dans la prochaine section, nous nous concentrons sur comment les enseignants peuvent guider efficacement les élèves dans leurs apprentissages avec les outils technologiques. Nous verrons également pourquoi il est crucial de planifier et d'adopter des stratégies pédagogiques adaptées lors de l'enseignement avec des outils numériques.

L'orchestration instrumentale

Trouche (2003) définit l'orchestration instrumentale comme l'attention portée au guidage des élèves dans les genèses instrumentales et à la manière dont l'enseignant organise et supervise l'utilisation des artefacts et des technologies en classe. L'orchestration instrumentale concerne donc la planification et la mise en œuvre par l'enseignant de stratégies pédagogiques visant à intégrer efficacement les outils technologiques, afin de permettre aux élèves de développer une meilleure compréhension des concepts mathématiques.

Drijvers & al (2013) proposent une vue holistique des approches que les enseignants peuvent adopter lorsqu'ils utilisent des ressources numériques en classe (Figure 5). Ces orchestrations vont de la démonstration technique, où l'enseignant présente une nouvelle fonctionnalité du logiciel, à la discussion collective autour d'un écran partagé, en passant par l'explication en se basant sur l'écran d'un élève.

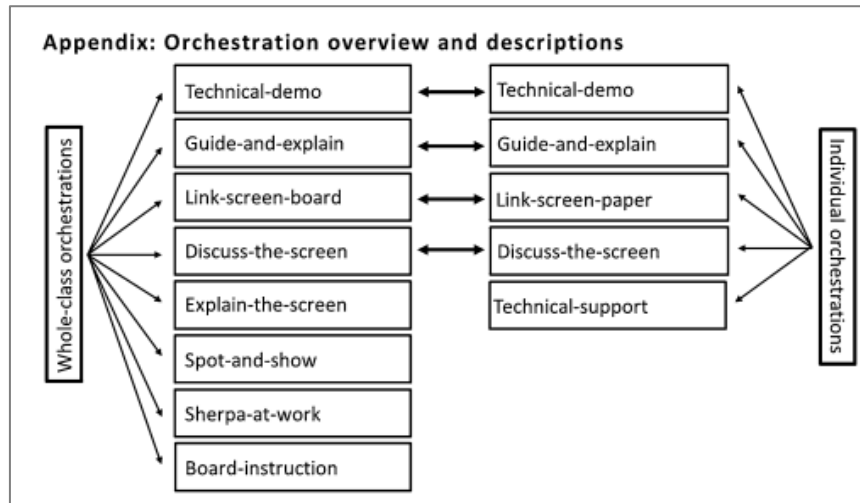


Figure 5 Vue globale des orchestrations classes-entières et individuelles (Drijvers & al., (2013, p.998)

Pour que les élèves puissent intégrer les artefacts proposés dans leurs apprentissages et les transformer en instruments, il est essentiel que l'enseignant conçoive soigneusement les configurations didactiques et sélectionne les artefacts adaptés aux objectifs d'apprentissage visés. Lors de notre intervention, nous intégrerons des orchestrations telles que "Discuss-the-screen", où le contenu est projeté sur un grand écran. L'enseignant dirige les actions et les élèves observent et formulent des hypothèses. Cette configuration stimule la pensée critique et offre un espace collaboratif enrichissant qui permet aux élèves de progresser dans leur compréhension du sujet étudié. Nous utiliserons également l'orchestration "Guide and Explain" où l'enseignant explicite les procédures ou les actions effectuées sur le grand écran, pendant que les élèves exécutent parallèlement les tâches sur leurs ordinateurs ou tablettes. Cette méthode engage les élèves dans le suivi des explications en les plaçant dans un rôle actif, favorisant un apprentissage vicariant : les élèves apprennent par observation et imitation, tout en ayant la possibilité de mettre immédiatement en pratique ce qu'ils observent sur leur propre écran pour tester et expérimenter.

Nous finalisons la section du cadre théorique en explorant la dialectique de l'ancien et du nouveau, un équilibre délicat entre les méthodes d'enseignement traditionnelles et l'intégration de nouvelles approches, tant de manière générale que dans le contexte spécifique de notre étude.

La dialectique ancien/nouveau

Assude et Gélis (2018) évoquent le concept de la dialectique de l'ancien et du nouveau comme l'équilibre entre les méthodes d'enseignement traditionnelles et l'introduction de nouvelles technologies dans l'enseignement de la géométrie. Les auteurs mettent en avant l'importance d'une "juste distance" entre l'ancien, comme le papier-crayon, et le nouveau, un LGD par exemple, pour que l'intégration de ce dernier soit réussie et contribue de manière efficace aux apprentissages visés.

Il est donc essentiel de proposer des séquences d'apprentissage dans lesquelles les tâches connues et les nouvelles technologies sont intégrées de manière judicieuse. Les auteurs ont montré que l'adoption de nouvelles technologies requiert une approche qui respecte à la fois les méthodes familières aux élèves, tout en introduisant graduellement des approches pédagogiques innovantes. La transition vers les nouvelles technologies doit être fluide, et il est crucial que les activités ne soient pas exclusivement liées aux nouvelles technologies.

2.3 Synthèse

Pour conclure le cadre théorique, il est important de souligner que les connaissances géométriques doivent être enseignées pour être acquises, contrairement aux connaissances spatiales. Dans le parcours des élèves au primaire, une étape fondamentale est la transition de la géométrie perceptive à la géométrie instrumentée. La géométrie perceptive repose sur la reconnaissance visuelle des formes et la manipulation d'objets, tandis que la géométrie instrumentée se base sur les propriétés géométriques des figures et l'utilisation d'outils pour explorer et vérifier ces dernières.

La déconstruction dimensionnelle joue un rôle clé dans cette transition qui exige des élèves de modifier leur perception des formes : ils doivent passer d'une vision iconique des objets comme assemblages de surfaces à une vision analytique qui décompose ces formes en points et en lignes. Ce changement de perception est difficile, car il y a une priorité cognitive des figures en deux dimensions par rapport aux figures en une dimension. Néanmoins, ce passage est essentiel pour passer à une géométrie instrumentée, où la réflexion se base sur les propriétés géométriques et les relations entre ces propriétés.

La géométrie dynamique, avec des logiciels tels que GeoGebra, peut faciliter et aider dans cette transition, car elle permet aux élèves de manipuler des objets géométriques en temps réel, de voir les effets des transformations et de comprendre les relations entre les propriétés géométriques des figures. Ces logiciels proposent un apprentissage interactif qui aide les élèves à visualiser et à comprendre les concepts géométriques de manière tangible. Ils incluent

également un large éventail d'outils qui facilitent non seulement la construction des figures géométriques, mais également la validation de leurs propriétés. Cette possibilité de tester et expérimenter en direct peut se révéler efficace et favoriser la prise de conscience chez les élèves du rôle des propriétés des figures géométriques.

Cependant, pour que l'utilisation des technologies numériques soit bénéfique et soutienne les apprentissages, l'enseignant doit soigneusement réfléchir à son scénario didactique, en y intégrant des activités permettant de transformer le numérique en instrument au service de l'enseignement de la géométrie. Il est également important de maintenir un équilibre entre l'enseignement traditionnel de la géométrie sur papier et l'utilisation du numérique. Cet équilibre permet d'assurer un enseignement complet et efficace.

Durant nos recherches sur le terrain, nous mettrons en pratique ces principes théoriques non seulement pour améliorer nos stratégies d'enseignement de la géométrie, mais aussi pour explorer de quelle manière un logiciel de géométrie dynamique peut faciliter la transition des élèves de la géométrie perceptive à la géométrie instrumentée.

3 PROBLÉMATIQUE

3.1 Question de recherche

Notre travail de mémoire vise à explorer une approche instrumentée de l'enseignement de la géométrie, par l'utilisation de GeoGebra. L'objectif principal est d'évaluer l'impact de cet outil sur les apprentissages des élèves.

La séquence que nous allons mener en classe se concentrera sur la transition des élèves d'une compréhension perceptive de la géométrie à une approche plus instrumentée, où ils manipuleront des constructions molles et robustes sur ce logiciel de géométrie dynamique. Ainsi, notre question de recherche est la suivante : **dans quelle mesure l'utilisation de GeoGebra aide-t-elle les élèves à passer d'une géométrie perceptive à une géométrie instrumentée ?**

Cette question nous permettra d'évaluer non seulement l'efficacité de GeoGebra comme outil d'enseignement, mais aussi de comprendre dans quelle mesure il contribue à un changement de perspective chez les élèves.

3.2 Hypothèses

Dans le cadre de notre recherche visant à évaluer l'impact de GeoGebra sur la transition des élèves d'une compréhension perceptive de la géométrie à une approche plus instrumentée, nous formulons les hypothèses suivantes :

- **Hypothèse 1** : Le dynamisme du logiciel nous laisse envisager que la perception des élèves sera mise au défi, ce qui va les inciter à adopter une perspective instrumentée en utilisant des outils pour vérifier les propriétés géométriques des figures. Nous supposons que, sur papier, les élèves ont plus de difficultés à visualiser la nature des figures géométriques. En utilisant GeoGebra, les élèves devraient être en mesure de surmonter les obstacles liés à l'identification de figures géométriques dans des positions non prototypiques (voir section 2.1.4). Grâce au dynamisme du logiciel, les élèves seront capables de manipuler des figures qui conservent leurs propriétés, même lors de déplacements (voir section 2.2.1).
- **Hypothèse 2** : Nous pensons que l'utilisation de GeoGebra favorisera la déconstruction dimensionnelle de figures (voir section 2.1.2). En construisant et en analysant des figures à l'aide de cet outil, les élèves seront amenés à décomposer ces figures en lignes et en points, ce qui les aidera à observer les relations entre ces éléments. La nécessité de construire explicitement tous les objets géométriques pour réaliser une figure géométrique sur GeoGebra encourage cette approche. Par exemple, pour construire un carré qui conservera ses propriétés géométriques lors de déplacements, il est, par exemple, nécessaire de :

- 1) Créer deux points A et B,
- 2) Créer le segment AB entre ces deux points,
- 3) Créer un cercle de centre A et passant par B,
- 4) Créer un cercle de centre B et passant par A,
- 5) Tracer une droite perpendiculaire au segment AB passant par le point A,
- 6) Tracer une droite perpendiculaire au segment AB passant par le point B,
- 7) Créer un point d'intersection F entre le cercle de centre A avec la perpendiculaire passant par A,
- 8) Créer un point d'intersection D entre le cercle de centre B avec la perpendiculaire passant par B,
- 9) Créer un polygone en reliant les points A, B, D et F

En réalisant ces neuf étapes, nous obtenons un carré robuste. Pour le vérifier, il suffit de déplacer les points A et B pour constater que le polygone conserve ses propriétés. L'usage des outils "Angle" et "Distance ou longueur" permet une double vérification en affichant les propriétés géométriques du carré.

De plus, la visibilité accrue des points dans le logiciel (Figure 6) facilite la perception des sommets des figures, soit des objets 0D, contrairement à l'approche traditionnelle sur papier et crayon (Figure 7).

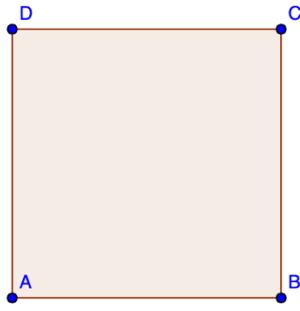


Figure 6 Carré réalisé sur GeoGebra

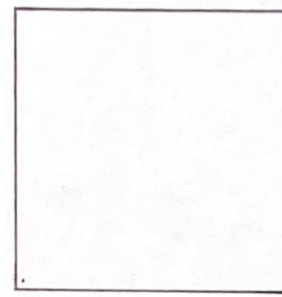


Figure 7 Carré réalisé sur un papier

Nous prévoyons que l'utilisation de GeoGebra conduira les élèves à percevoir les figures comme des compositions de lignes et de points, favorisant ainsi la visualisation des objets 1D (lignes) et 0D (points).

Dans le cadre de notre séquence, les élèves seront amenés à manipuler des figures sur GeoGebra. La manipulation devra nécessairement se faire en déplaçant le sommet de la figure. Par ce processus, nous pensons que nous favoriserons davantage la déconstruction dimensionnelle chez les élèves qui seront contraints de manipuler des objets 0D pour visualiser les variants et invariants des figures géométriques. En modifiant la position ou l'orientation d'une figure géométrique dans l'espace, ses propriétés spatiales peuvent changer (variant d'une figure géométrique), bien que ses propriétés géométriques restent invariantes. Cette visualisation des propriétés géométriques sur GeoGebra par la manipulation des points nous conduit à formuler notre troisième hypothèse.

- **Hypothèse 3** : Nous anticipons que l'environnement dynamique de GeoGebra favorisera une compréhension approfondie des notions géométriques. En manipulant et en modifiant instantanément les figures, les élèves seront amenés à visualiser les propriétés géométriques comme des invariants de ces figures (voir section 2.2.2). Nous supposons que cette séquence conduira les élèves à distinguer les invariants des variations dans l'identification des figures géométriques, les aidant ainsi à percevoir les formes comme des figures définies par des propriétés géométriques plutôt que simplement comme des dessins (voir section 2.1.2).

En résumé, nous pensons que l'utilisation de GeoGebra dans l'enseignement de la géométrie favorisera une transition significative des élèves d'une compréhension perceptive à une approche plus instrumentée, en les aidant à développer une compréhension plus approfondie des propriétés géométriques. En combinant l'approche traditionnelle du papier et du crayon avec les nouvelles technologies, notre séquence offrira aux élèves une gamme variée d'outils pour construire et analyser des figures, ce qui devrait permettre de contourner certaines difficultés.

4 EXPÉRIMENTATION

4.1 Méthodologie

Pour répondre à notre question de recherche et vérifier nos hypothèses, nous avons conçu une démarche quasi-expérimentale en trois phases distinctes :

- Pré-test : Avant l'intervention, nous évaluerons le niveau initial des connaissances des élèves en matière de figures géométriques.
- Intervention : Nous mènerons une séquence d'enseignement utilisant GeoGebra pour aider les élèves à adopter une approche instrumentée de la géométrie.
- Post-test : Après l'intervention, nous réaliserons un post-test pour évaluer le niveau de compréhension des élèves et comparer avec les résultats du pré-test.

Dans le cadre d'une démarche quasi-expérimentale, l'impact de l'intervention est mesuré à deux reprises : avant et après l'exposition d'un groupe unique non aléatoire de participants à l'intervention. Selon Shadish et al. (2001), la démarche quasi-expérimentale a trois caractéristiques principales :

- Le groupe de participants est sélectionné de manière non aléatoire, ce qui en fait une conception quasi-expérimentale.
- Il n'y a pas de groupe témoin avec lequel comparer les résultats.
- L'effet de l'intervention est mesuré en comparant les mesures pré- et post-test.

Nous avons opté pour cette méthode pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle nous permet de réaliser notre expérimentation en classe avec peu de matériel. De plus, la méthode quasi-expérimentale ne nécessite pas de considérer la temporalité, ce qui est avantageux compte tenu des imprévus et des contraintes liées à nos lieux de stage.

Cependant, cette méthode présente également des inconvénients. Shadish et al. (2001) mentionnent que les événements survenant entre le pré-test et le post-test, autres que l'intervention, peuvent affecter les résultats du post-test. Dès lors, plus le délai entre les deux tests est long, plus ce risque est élevé. Qui plus est, le simple fait de passer un pré-test peut biaiser les résultats du post-test en augmentant l'expérience, les connaissances ou la conscience des élèves.

Après le post-test, nous pourrions vérifier nos hypothèses initiales. En comparant les résultats des élèves entre les deux tests, nous espérons observer une amélioration des performances au

post-test. Bien que nous ne puissions pas attribuer cette amélioration uniquement à l'utilisation de GeoGebra, faute de groupe témoin, nous pourrions en discuter.

Nous anticipons plusieurs difficultés potentielles, notamment des problèmes techniques avec GeoGebra pour les enseignants et les élèves, la gestion de classe et les différences individuelles dans la maîtrise des outils informatiques.

Les chapitres suivants détaillent les différentes étapes de notre expérimentation.

4.2 Terrain expérimental

Avant de commencer notre expérience, nous avons sélectionné deux classes de 6P (élèves de 9 à 10 ans) dans le canton de Vaud, où nous avons été enseignants stagiaires à temps partiel pendant une année. Les deux groupes, nommés A et B, sont composés respectivement de 19 élèves (6 garçons et 13 filles) et de 24 élèves (12 garçons et 12 filles). Notre échantillon initial comprenait ainsi 43 élèves au total (18 garçons et 25 filles). Cependant, en raison d'absences, nous n'avons pas pu prendre en compte les données de trois élèves dans la classe A et de quatre élèves dans la classe B. Pour des raisons éthiques et d'apprentissages, ces élèves ont quand-même pu participer aux différentes étapes de l'intervention lorsqu'ils étaient présents. Néanmoins, leurs données n'ont pas été comptabilisées. Ainsi, notre échantillon de 43 élèves a été réduit à un échantillon de 36 élèves, constitué de 16 élèves dans la classe A (4 garçons et 12 filles) et de 20 élèves dans la classe B (9 garçons et 11 filles).

Notre expérimentation s'appuiera donc sur un échantillon total de 36 élèves constitué de 13 garçons et de 23 filles.

Les deux groupes se trouvent dans un environnement semi-urbain. L'établissement où se situe le groupe A est bien équipé en infrastructures informatiques. La plupart des salles de classe sont dotées de tableaux blancs interactifs, et toutes disposent d'une valise contenant cinq tablettes. De plus, au moins trois ordinateurs sont présents dans chaque classe. Les enseignants ont la possibilité d'emprunter des valises de tablettes à d'autres classes et de réserver jusqu'à vingt ordinateurs portables. Pour notre projet de recherche, dans le groupe A, nous utiliserons le tableau blanc interactif ainsi que dix tablettes.

L'établissement du groupe B n'est pas encore complètement équipé en matière de numérique. En effet, les salles de classe de l'établissement du groupe B ne disposent pas d'affichages numériques, seuls quelques anciens projecteurs mobiles sont à disposition. De plus, les valises contenant les tablettes se trouvent dans un autre bâtiment, ce qui rend leur utilisation compliquée. Cependant, l'établissement est pourvu d'une salle informatique, équipée de 24

postes individuels et d'un poste-maître, permettant la projection de contenu sur grand écran. Pour le groupe B, toutes les activités branchées du projet de recherche se dérouleront dans cette salle informatique.

4.3 Pré-test

4.3.1 Conception et analyse a priori

Dans cette section, nous décrivons la conception et l'analyse a priori de notre pré-test, qui vise à évaluer l'état des connaissances des élèves avant l'intervention. Afin d'examiner l'influence de GeoGebra sur leur apprentissage, nous avons élaboré un pré-test (voir annexe 1) pour établir une évaluation diagnostique des connaissances des élèves en matière de figures géométriques. Notre objectif est de déterminer si les élèves se situent dans une géométrie perceptive, instrumentée ou entre les deux. Le pré-test comporte trois exercices que nous présentons ci-dessous. Il est à noter que l'exercice n°2 n'a pas été pris en compte dans l'évaluation de l'état des connaissances des élèves. Par conséquent, nous en présentons une analyse a priori réduite.

Lors de la passation du pré-test, nous n'indiquerons pas aux élèves de prendre du matériel. Nous ne souhaitons pas induire par contrat didactique l'utilisation du matériel géométrique comme la règle et l'équerre qui seront nécessaires à la réalisation du 1^{er} exercice. Cependant, du matériel sera à disposition des élèves (équerre, règle, compas et miroir) et ils pourront se déplacer pour prendre ce qu'ils souhaitent. Si les élèves décident de prendre un outil, ils devront écrire son nom en haut du document.

La consigne que nous pensons énoncer dans les deux classes est celle-ci : "Individuellement, vous allez réaliser trois exercices qui portent sur les figures géométriques. Il s'agit d'un pré-test qui nous aidera à évaluer vos connaissances en géométrie avant de commencer notre nouvelle activité avec GeoGebra. Je vais vous donner quelques consignes importantes. Vous êtes libres de vous déplacer pour prendre ce dont vous avez besoin pour réaliser les exercices. Si vous prenez du matériel pour réaliser l'exercice, vous devez écrire le nom de l'objet en haut de votre fiche. Pour les exercices, je vous demande de répondre aux questions aussi précisément que possible, en utilisant vos connaissances actuelles en géométrie. Vous pouvez répondre aux questions dans l'ordre que vous souhaitez et il n'y a pas de limite de temps. Si vous avez des questions sur les consignes, n'hésitez pas à me les poser maintenant". Nous avons prévu d'analyser les résultats des élèves sous forme de points que nous détaillerons dans l'analyse a posteriori.

Exercice n°1 :

Le premier exercice du pré-test porte sur l'identification des figures géométriques. Parmi les onze figures représentées (Figure 8), les élèves devront reconnaître les carrés, les rectangles, les losanges et les triangles. Cet exercice vise à explorer à la fois les figures prototypiques et non prototypiques. Les figures présentées peuvent être classées selon deux critères : leur position et leur forme. D'une part, une figure peut être dans une position prototypique, comme un losange posé sur la pointe, ou elle peut avoir une forme prototypique, comme un rectangle avec des longueurs nettement plus longues que les largeurs.

D'autre part, une figure peut ne pas être dans une position prototypique, par exemple un losange posé sur l'un de ses côtés plutôt que sur la pointe, ou avoir une forme non prototypique, comme un rectangle avec des longueurs et des largeurs presque égales.

Dans notre expérimentation, nous ne faisons pas de distinction entre la position et la forme prototypique ou non prototypique. Ainsi, les figures que nous présentons peuvent être soit des figures prototypiques, soit des figures non prototypiques, en fonction de ces deux critères.

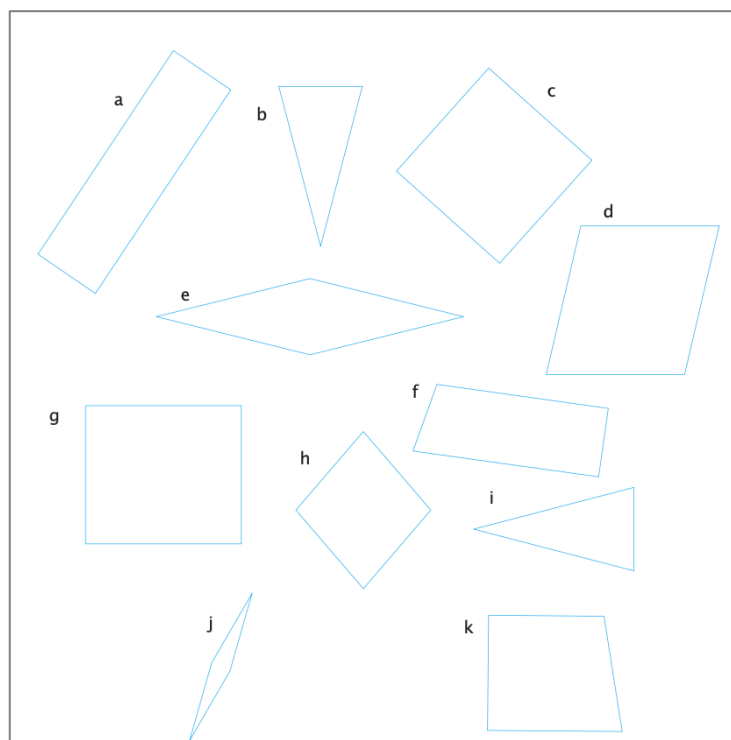


Figure 8 Pré-test, exercice n°1 : la reconnaissance de figures géométriques

Nous avons proposé une figure prototypique qui est le losange "H", toutes les autres figures sont non prototypiques : le carré "C" (en position non prototypique), les rectangles "A" et "G" (respectivement en position non prototypique et de forme non prototypique), les losanges "E" et "J" (de forme non prototypique), et les triangles "B" et "I" (en position non prototypique). De

plus, nous avons inclus des figures qui ne sont ni des carrés, ni des rectangles, ni des losanges, ni des triangles. Il s'agit notamment d'un parallélogramme (figure "D") que nous avons délibérément choisi comme une figure de forme non prototypique. De plus, c'est une figure qui n'est pas étudiée en 6P. Deux trapèzes rectangles (figures "F" et "K") sont aussi des intrus que nous avons introduits.

Les élèves qui utiliseront du matériel géométrique (règle et équerre) et qui identifieront correctement les figures seront considérés comme étant dans la géométrie instrumentée. C'est-à-dire :

- Carrés : C
- Rectangles : A, G
- Losanges : E, J, H
- Triangles : B, I

Les erreurs qu'on suppose pour les élèves qui ont une vision perceptive de la géométrie sont les suivantes :

- Carrés : G (nécessité de contrôler les longueurs pour identifier que c'est un rectangle), K (nécessité de contrôler les angles en utilisant une équerre)
- Rectangles : D et F (nécessité de contrôler les angles en utilisant une équerre et de vérifier les côtés parallèles)
- Losanges : C (carré en position prototypique du losange), D (parallélogramme qui ressemble à un losange)

Pour la vérification des propriétés des figures, les élèves pourront utiliser une équerre pour contrôler les angles et une règle graduée pour vérifier les longueurs. Ainsi, nous pouvons distinguer ceux qui se fient uniquement à leur vision de ceux qui utilisent du matériel géométrique pour réaliser l'exercice. Les réponses incorrectes nous permettront de détecter d'éventuelles confusions ou lacunes conceptuelles, mettant ainsi en lumière les zones où les élèves pourraient rencontrer des difficultés de classification.

En outre, cet exercice nous permettra d'évaluer les connaissances des élèves en termes d'identification des figures en fonction de leur nom. Ainsi, nous pourrons observer le niveau initial de maîtrise du vocabulaire géométrique par les élèves.

Exercice n°2 :

Le deuxième exercice du pré-test porte sur l'identification d'affirmations valides (Figure 9). Les élèves devront cocher celles qu'ils estiment correctes.

Cet exercice vise à évaluer la compréhension des élèves en ce qui concerne les propriétés géométriques des figures telles que le triangle, le rectangle, le carré et le losange. En identifiant correctement les affirmations valides, les élèves montreront leur connaissance des propriétés de ces figures géométriques.

<input type="checkbox"/> Un triangle peut avoir trois côtés de même longueur.
<input type="checkbox"/> Un rectangle peut être un carré.
<input type="checkbox"/> Tous les angles d'un rectangle sont droits (à 90 degrés).
<input type="checkbox"/> Les côtés opposés d'un carré sont parallèles.
<input type="checkbox"/> Un carré peut être un rectangle.
<input type="checkbox"/> Les côtés d'un triangle peuvent avoir des longueurs différentes.
<input type="checkbox"/> Un losange a quatre côtés de longueur égale.

Figure 9 Pré-test, exercice n°2 : les affirmations géométriques

Il est attendu que les élèves montrent une compréhension des caractéristiques spécifiques de chaque figure, telles que le nombre de côtés, les angles, et les éventuelles relations entre les figures.

Dans cet exercice, toutes les affirmations sont correctes.

- "Un triangle peut avoir trois côtés de même longueur". Nous faisons référence ici à la définition du triangle équilatéral où les trois côtés sont de la même longueur. Nous supposons que les élèves considéreront cette affirmation comme vraie.
- "Un rectangle peut être un carré". Un carré est un type particulier de rectangle où les quatre côtés sont de même longueur, il a quatre angles droits et deux diagonales perpendiculaires se coupant en leur milieu. Ainsi, tout carré est un rectangle, mais tous les rectangles ne sont pas des carrés en raison de la mesure des côtés. Toutefois, les élèves peuvent considérer un rectangle et un carré comme des formes différentes et par conséquent penseront que cette affirmation est fausse.
- "Tous les angles d'un rectangle sont droits (à 90 degrés)". Il s'agit de l'une des propriétés géométriques du rectangle. Nous pensons que les élèves considéreront cette affirmation comme vraie.

- "Les côtés opposés d'un carré sont parallèles". Les côtés opposés d'un carré sont à la fois égaux en longueur et parallèles, car un carré est à la fois un parallélogramme et un rectangle. Nous pensons que les élèves considéreront cette réponse comme vraie, car ils ont déjà des connaissances préalables sur les propriétés géométriques du carré.
- "Un carré peut être un rectangle". Comme mentionné précédemment, le carré est un rectangle particulier. Un carré est donc un rectangle. Nous supposons que les élèves pourraient penser que cette affirmation est fausse, car ils peuvent être influencés par une interprétation stricte selon laquelle les formes "rectangle" et "carré" sont différentes.
- "Les côtés d'un triangle peuvent avoir des longueurs différentes". Il existe plusieurs sortes de triangles. Comme le triangle équilatéral que nous avons énoncé précédemment, le triangle isocèle et le triangle scalène. Cette affirmation est vraie, car le triangle scalène a trois côtés de longueurs différentes et que le triangle isocèle a deux côtés de même longueur. Nous pensons que les élèves pourraient considérer cette affirmation comme fausse s'il ne connaît pas les différentes classifications des triangles et supposent que tous les triangles ont des côtés de longueurs égales.
- "Un losange a quatre côtés de longueur égale". Par définition, un losange est un quadrilatère avec quatre côtés de longueur égale. Le losange est un parallélogramme particulier qui a des côtés opposés parallèles, des angles opposés de même mesure et des diagonales qui se coupent en leur milieu. Nous pensons que certains élèves pourraient considérer cette affirmation comme fausse, car ils n'ont pas encore appris les propriétés géométriques du losange.

Nous n'avons pas fourni d'images des figures à côté des affirmations afin d'évaluer les capacités d'abstraction des élèves et les stratégies mises en place (par exemple, réaliser un croquis, se référer à l'exercice précédent, se faire une image mentale) pour réaliser l'exercice.

Exercice n°3 :

Le dernier exercice de cette évaluation diagnostique est un "jeu du portrait" de figures (Figure 10). Les élèves doivent identifier la figure géométrique à partir d'une description de ses propriétés.

<p>Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits. Qui suis-je ? _____</p> <p>Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes. Qui suis-je ? _____</p> <p>Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits. Qui suis-je ? _____</p>
--

Figure 10 Pré-test, exercice n°3 : la reconnaissance de figures géométriques à partir de descriptions

Cet exercice vise à évaluer la capacité des élèves à identifier différentes figures géométriques en fonction de leurs caractéristiques. Les descriptions fournies nécessitent une compréhension des propriétés des quadrilatères, telles que le parallélisme des côtés, les longueurs des côtés et les types d'angles présents. En outre, l'exercice peut aider à renforcer la distinction entre des figures similaires, mais avec des propriétés différentes, comme le rectangle et le carré. Les réponses des élèves fourniront des indications sur leur compréhension des concepts géométriques.

Nous supposons que les élèves ayant une vision instrumentée de la géométrie vont répondre correctement aux trois questions :

- Pour le premier quadrilatère, la figure géométrique correspondant à la description donnée est un *losange*. Cette figure a des côtés opposés parallèles et tous les côtés ont la même longueur, mais les angles intérieurs ne sont pas nécessairement droits.
- La deuxième description correspond à un *rectangle*. Il possède des côtés opposés parallèles et des angles droits, mais les longueurs des côtés peuvent varier.
- Le troisième quadrilatère qui est décrit est un *carré*. Tous les côtés ont la même longueur et les angles sont droits.

Nous anticipons que les élèves qui ne sont pas encore dans la géométrie instrumentée vont répondre incorrectement aux questions.

- Pour la première description, certains pourraient confondre le losange avec le carré en raison de leurs côtés de même longueur et des côtés opposés parallèles. Le fait que le carré soit un losange particulier et qu'il partage les mêmes propriétés géométriques peut

pousser les élèves à confusion. Nous pensons que les élèves qui ne sont pas encore dans la géométrie instrumentée ne prendront pas forcément en considération le commentaire sur les angles droit. Une minorité pourrait également mentionner le rectangle, en raison de sa propriété commune avec le losange qui a aussi des côtés opposés parallèles.

- Pour la deuxième question, nous anticipons une meilleure réponse, avec une reconnaissance plus large du rectangle en raison de ses propriétés distinctes. Néanmoins, il est possible que des élèves puissent mentionner le losange s'ils ont répondu "rectangle" précédemment. La réponse "carré" est moins probable, car les élèves ont souvent des connaissances préalables sur les côtés de même longueur de ce quadrilatère.
- Nous pensons que la dernière question aura le plus haut taux de réussite, car les propriétés du carré sont généralement bien connues des élèves. Cependant, quelques erreurs pourraient survenir comme le fait de répondre "rectangle" s'ils ont déjà mentionné le carré précédemment ou s'ils ne prennent pas en compte l'information sur les côtés de même longueur. Nous envisageons aussi que les élèves répondent "losange" pour les mêmes raisons que nous avons énoncées dans le premier point.

De manière plus générale, il est possible que les élèves mentionnent d'autres figures comme le triangle ou le cercle, peut-être en raison d'une méconnaissance du vocabulaire géométrique ou d'une identification aléatoire des figures. Un obstacle à leur compréhension pourrait être le terme "quadrilatère" qui, s'il n'est pas compris par les élèves, pourrait les amener à écrire "triangle". Cependant, nous pensons que les sources d'erreurs par ce biais-là sont peu probables, car la prise en compte de cette première phrase n'est pas nécessaire à l'identification des figures qui sont déjà connues par les élèves.

Nous avons présenté les trois exercices du pré-test qui sont conçus pour évaluer les connaissances initiales des élèves en matière de figures géométriques. Les résultats obtenus orienteront notre analyse de l'impact de GeoGebra sur la transition de la géométrie perceptive à la géométrie instrumentée chez des élèves de 6P.

4.3.2 Conditions de passation et analyse a posteriori

Le pré-test a été effectué par les deux classes de 6P dans des conditions similaires. L'objectif était d'obtenir une vision objective des connaissances de tous les élèves, sans adaptation particulière aux besoins individuels.

Déroulé du pré-test :

Lors de la passation du pré-test, dans le groupe A, un élève était absent. Ainsi, 18 élèves étaient présents. Dans le groupe B, 21 élèves étaient présents sur les 24 prévus initialement.

Avant de commencer le pré-test, nous avons passé en revue les consignes avec chaque classe, en veillant à ne pas influencer les résultats. Ensuite, les élèves ont été autorisés à commencer les exercices dans l'ordre de leur choix.

Après quelques minutes, certains élèves des deux classes ont demandé s'ils pouvaient utiliser des équerres. Des élèves ont également demandé à utiliser des miroirs pour travailler sur les axes de symétrie, tandis que d'autres ont souhaité utiliser des compas. Certains élèves ont simplement utilisé une règle graduée, tandis que d'autres n'ont utilisé aucun instrument. Les enseignants sont restés neutres face aux demandes des élèves pour l'obtention de matériel, se contentant d'accepter les demandes des élèves sans influencer leur choix.

Les élèves qui ont utilisé du matériel géométrique ont dû indiquer le nom de l'outil utilisé en haut de leur feuille de réponse. Cela nous permettra de comprendre dans quelle mesure les élèves s'appuient sur des instruments pour la reconnaissance et la compréhension des figures géométriques.

Aucune limite de temps n'a été imposée pour la réalisation du pré-test. Cependant, la durée nécessaire pour terminer les exercices a varié considérablement, allant de moins de 20 minutes à une période complète de 45 minutes pour les derniers élèves. Il est important de noter que les élèves n'ont pas obtenu de retour formatif sur le pré-test.

Résultats du pré-test :

Après avoir mené le pré-test dans nos classes respectives, nous avons évalué les résultats en attribuant des points aux réponses des élèves. Notre objectif était de classer les élèves en trois groupes distincts en fonction de leur approche de la géométrie : ceux ayant une vision instrumentée, ceux en transition, et ceux ayant une vision perceptive.

Exercice 1 (15 points au total) :

- Nous avons évalué un aspect : les réponses données par les élèves.
- Pour l'identification des figures, les élèves ont reçu 2 points par figure non prototypique correctement identifiée, jusqu'à un maximum de 14 points. Ils ont également reçu un point s'ils ont correctement identifié le losange "H", figure prototypique.

- Une pénalité de 1 point a été appliquée si l'élève a associé incorrectement les figures "D" (parallélogramme), "F" ou "K" (trapèzes rectangles), avec un maximum de perte de 3 points pour cette erreur.

Exercice 2 :

- Les résultats de cet exercice n'ont pas été inclus dans notre recherche. Nous avons constaté qu'évaluer les connaissances des élèves devient difficile lorsque le hasard joue un rôle déterminant dans la réussite de l'exercice. Cette situation crée une confusion potentielle, car les bonnes réponses peuvent être choisies au hasard plutôt que par une réelle compréhension des concepts géométriques. De plus, toutes les affirmations de cet exercice étant correctes, cela peut porter les élèves à confusion. Les élèves ont l'habitude d'avoir certaines réponses qu'il ne faut pas cocher dans ce type d'exercice. Ainsi, il y a un risque que les élèves ne cochent pas certaines cases (à nouveau au hasard). Par conséquent, les résultats de cet exercice ne reflètent pas fidèlement la maîtrise des propriétés géométriques par les élèves.

Exercice 3 (3 points au total) :

- Les élèves ont reçu 1 point par réponse correcte, pour un maximum de 3 points, puisque l'exercice comporte 3 questions.

Les élèves pouvaient donc obtenir un maximum de 18 points.

Lors de l'analyse a priori, nous pensions évaluer l'usage du matériel choisi par les élèves en attribuant 10 points pour l'utilisation de l'équerre et 5 points pour tous les autres instruments (miroir, règle graduée, compas...). Cependant, nous avons constaté qu'il est compliqué de juger l'usage efficient d'un instrument géométrique. C'est pourquoi nous avons décidé de ne pas prendre en compte cet aspect dans notre classification.

Nous avons considéré que les élèves qui ont obtenu entre 17 et 18 points ont montré une compréhension avancée des figures géométriques, identifiant correctement les figures et leurs propriétés ; nous les avons ainsi classés dans la géométrie instrumentée. Ceux qui ont obtenu des scores partiels (12 à 16 points) ont généralement bien performé, mais ont commis quelques erreurs ou ont montré des lacunes dans la compréhension ; ces élèves sont comptés dans la catégorie "partiellement" ils sont donc en transition vers une vision instrumentée de la géométrie. Enfin, les élèves qui ont obtenu 11 points ou moins ont montré une compréhension limitée des concepts géométriques et ont commis plusieurs erreurs dans l'identification des figures ; nous estimons qu'ils sont encore dans la géométrie perceptive.

En guise d'illustration de notre classification, nous avons analysé les productions des élèves de la manière suivante :

Élève "instrumentée" (Figures 11 et 12) :

Exercice 1 : 15 points

- Cette élève a indiqué avoir utilisé une règle et un miroir.
- Elle a identifié correctement les figures non prototypiques : le carré "C", les rectangles "A" et "G", les losanges "E" et "J" et les triangles "B" et "I". Elle obtient 2 points par figure non prototypique, ce qui lui fait un total de 14 points pour cette partie de l'exercice.
- Elle a identifié le losange "H" qui est une figure prototypique. Elle a 1 point supplémentaire.
- L'élève n'a pas associé incorrectement les figures "D", "F" ou "K". Elle ne perd aucun point.

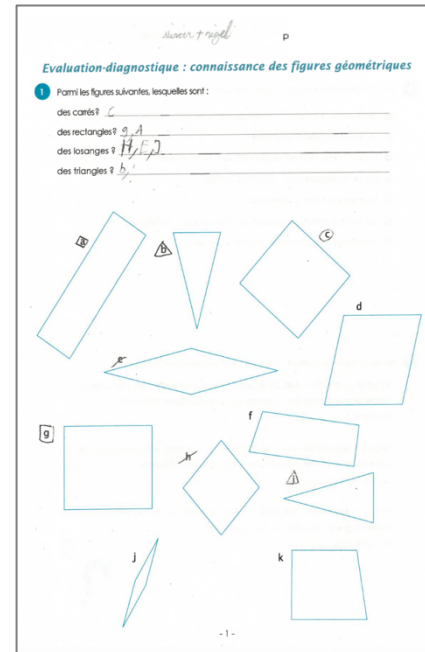


Figure 11 Pré-test ex. 1 : élève "instrumentée"

Exercice 3 : 3 points

- L'élève a reconnu les trois figures géométriques qui correspondent aux caractéristiques données. Elle a obtenu 1 point par figure.
 - Losange : 1 point
 - Rectangle : 1 point
 - Carré : 1 point

L'élève "instrumentée" a obtenu un total de 18 points. Elle a démontré sa compréhension des propriétés géométriques et son analyse des figures.

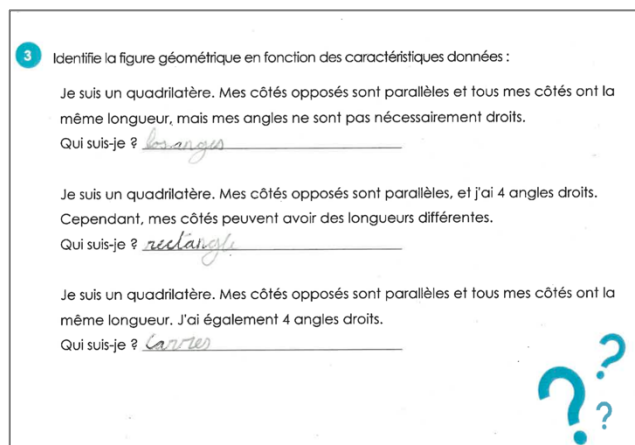


Figure 12 Pré-test ex.3 : élève "instrumentée"

Élève "partiellement" (Figures 13 et 14) :

Exercice 1 : 13 points

- Cette élève a indiqué avoir utilisé une équerre et un miroir.
- Elle a identifié correctement certaines figures non prototypiques : le carré "C", le rectangle "A", les losanges "E" et "J" et les triangles "B" et "I". Elle a associé le rectangle "G" à la catégorie des carrés. Elle obtient 2 points par figure non prototypique, ce qui lui fait un total de 12 points pour cette partie de l'exercice.
- Elle a identifié le losange "H" qui est une figure prototypique. Elle a 1 point supplémentaire.
- L'élève n'a pas associé incorrectement les figures "D", "F" ou "K". Elle ne perd aucun point.

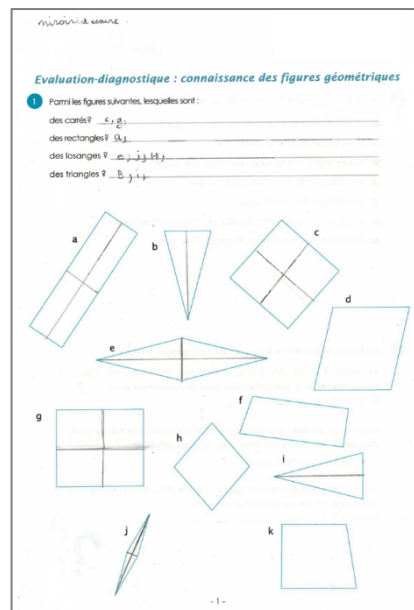


Figure 13 Pré-test ex. 1 : élève "partiellement"

Exercice 3 : 2 points

- L'élève a reconnu deux des trois figures géométriques qui correspondent aux caractéristiques données. Elle a obtenu 1 point par figure.
 - Cercle à la place de losange : 0 point
 - Rectangle : 1 point
 - Carré : 1 point

L'élève "partiellement" a obtenu un total de 15 points. Elle a commis quelques erreurs et démontre qu'elle est en transition vers une vision instrumentée de la géométrie. Son utilisation de

l'équerre pour la mesure des longueurs est peut-être encore imprécise et sa connaissance des propriétés géométriques n'est pas encore aboutie.

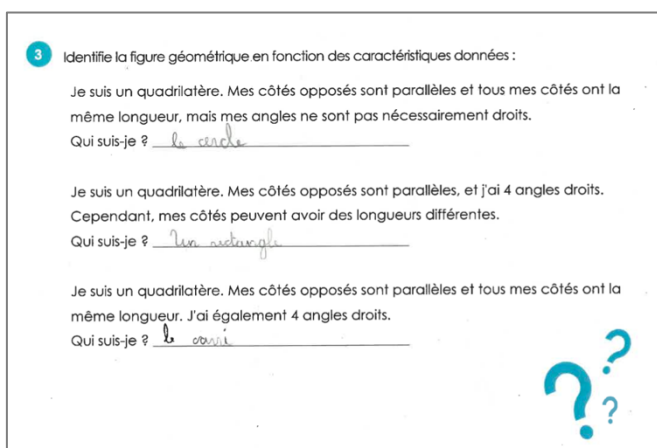


Figure 14 Pré-test ex. 3 : élève "partiellement"

Élève "perceptive" (Figures 15 et 16) :

Exercice 1 : 10 points

- L'élève n'a pas utilisé de matériel.
- Elle a identifié correctement les figures non prototypiques suivantes : le rectangle "A", les losanges "E" et "J" et les triangles "B" et "I". Elle obtient 2 points par figure non prototypique, ce qui lui fait un total de 10 points pour cette partie de l'exercice.
- Elle a placé le carré "C" dans la catégorie des losanges et le rectangle "G" dans la catégorie des carrés. Ces erreurs que nous avons anticipées dans l'analyse a priori du pré-test, montre la vision perceptive de la géométrie de l'élève qui va se fier à ce qu'elle "voit" plutôt que de vérifier avec du matériel de géométrie. Pour le rectangle "G", il est nécessaire de vérifier les longueurs pour constater qu'il s'agit d'un rectangle et non pas d'un carré. Le carré "C" est dans la position prototypique du losange ce qui a certainement été un obstacle pour l'élève qui n'a pas utilisé de matériel pour vérifier les angles.

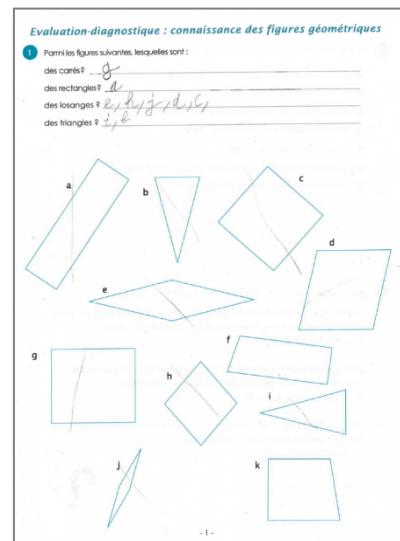


Figure 15 Pré-test ex. 1 : élève "perceptive"

- Elle a identifié le losange "H" qui est une figure prototypique. Elle a 1 point supplémentaire.
- L'élève a associé incorrectement la figure "D" aux losanges. Cette erreur que nous avons anticipée dans l'analyse a priori est due au fait que le parallélogramme "D" ressemble à un losange. Elle perd 1 point. Ainsi, l'élève obtient un total de 10 points pour le premier exercice.

Exercice 3 : 1 point

- L'élève a reconnu l'une des trois figures géométriques qui correspondent aux caractéristiques données. Elle a obtenu 1 point pour cet exercice.
 - Carré à la place de losange : 0 point
 - Rectangle : 1 point
 - Losange à la place de Carré : 0 point
- La confusion de l'élève entre le carré et le losange peut montrer une compréhension incomplète des propriétés géométriques de ces deux figures.

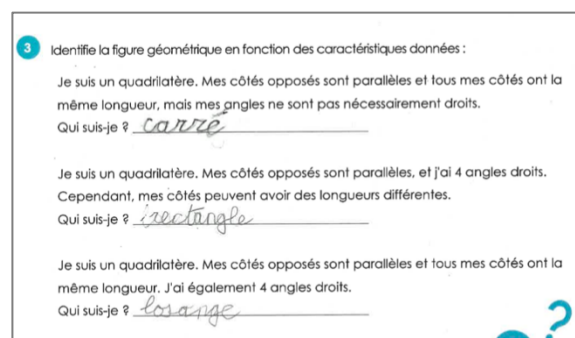


Figure 16 Pré-test ex. 3 : élève "perceptive"

L'élève "perceptive" a obtenu un total de 11 points. Elle a commis plusieurs erreurs dans l'identification des figures et montre une compréhension limitée des propriétés géométriques. Nous supposons qu'elle se fie en majorité à sa vision en n'utilisant aucun instrument et en ne vérifiant pas les mesures et les angles des figures. Ses erreurs dans le premier exercice sont certainement dues à sa difficulté à identifier des figures géométriques qui ne sont pas dans une position prototypique.

Dans la classe A, les élèves ont obtenu les résultats suivants (Tableau 3) :

Élèves (A)	Exercice 1 (15 points)	Exercice 3 (3 points)	Total (18 points)	Classification
1	10	1	11	Perceptive
2	12	3	15	Partiellement
3	11	2	13	Partiellement
4	15	2	17	Instrumentée
5	15	3	18	Instrumentée
6	13	2	15	Partiellement
7	14	0	14	Partiellement
8	12	1	13	Partiellement
9	12	3	15	Partiellement
10	12	1	13	Partiellement
11	13	2	15	Partiellement
12	13	2	15	Partiellement
13	15	3	18	Instrumentée
14	11	1	12	Partiellement
15	8	3	11	Perceptive
16	13	1	14	Partiellement

Tableau 3 résultats analyse a posteriori pré-test classe A¹

Dans la classe A, sur les 16 élèves qui ont réalisé le pré-test et selon notre classification, nous constatons que 3 élèves sont déjà dans une géométrie instrumentée, 11 élèves sont en transition et 2 élèves ont une vision perceptive de la géométrie.

¹ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

Pour la classe B, la synthèse des résultats est la suivante (Tableau 4) :

Élèves (B)	Exercice 1 (15 points)	Exercice 3 (3 points)	Total (18 points)	Classification
1	11	1	12	Partiellement
2	15	3	18	Instrumentée
3	14	3	17	Instrumentée
4	13	2	15	Partiellement
5	9	3	12	Partiellement
6	15	2	17	Instrumentée
7	11	2	13	Partiellement
8	11	3	14	Partiellement
9	9	1	8	Perceptive
10	15	3	18	Instrumentée
11	15	3	18	Instrumentée
12	14	3	17	Instrumentée
13	14	3	17	Instrumentée
14	12	3	15	Partiellement
15	15	3	18	Instrumentée
16	14	3	17	Instrumentée
17	15	3	18	Instrumentée
18	13	3	16	Partiellement
19	13	3	16	Partiellement
20	15	2	17	Instrumentée

Tableau 4 résultats analyse a posteriori pré-test classe B²

Dans la classe B, sur les 20 élèves qui ont réalisé le pré-test et selon notre classification, nous constatons que 11 élèves sont déjà dans une géométrie instrumentée, 8 élèves sont en transition et 1 élève a une vision perceptive de la géométrie.

² Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

Le Tableau 5 montre un aperçu général de la classification des deux classes pour les résultats du pré-test.

Classification	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
Perceptive	2 (13%)	1 (5%)	3 (8%)
Partiellement	11 (69%)	8 (40%)	19 (53%)
Instrumentée	3 (19%)	11 (55%)	14 (39%)

Tableau 5 résultats analyse a posteriori pré-test classes A & B³

Cette analyse des résultats du pré-test révèle plusieurs points significatifs. Premièrement, la classe B présente une majorité d'élèves déjà engagés dans une approche de la géométrie instrumentée (55% de la classe B), tandis que la classe A montre une prépondérance d'élèves se situant entre les deux visions de la géométrie (69% de la classe A). Bien que la catégorie "partiellement" regroupe la majorité des élèves dans les deux classes, la proportion est plus marquée dans la classe A.

Dans l'ensemble, seul un petit pourcentage d'élèves démontre une vision perceptive de la géométrie (8%). Ces résultats soulignent donc que la plupart des élèves sont entre les deux approches géométriques (53% des élèves de notre expérimentation).

Ces constats nous orientent vers une intervention centrée sur l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique GeoGebra. Durant l'intervention, nous pourrions accompagner davantage les élèves "perceptifs" ou "en transition" grâce à l'analyse des résultats du pré-test. Ainsi, nous pouvons cibler les élèves qui auront le plus besoin d'aide dans le but de les accompagner dans leurs apprentissages en géométrie. Après cette intervention, nous prévoyons de réaliser un post-test pour évaluer l'impact de la séquence sur les connaissances et les compétences des élèves en géométrie.

³ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

4.4 Intervention

4.4.1 Conception et analyse a priori

Notre intervention, la phase principale de notre expérimentation, a comme objectif de favoriser la transition des élèves de la géométrie perceptive à la géométrie instrumentée en utilisant GeoGebra. Cette séquence d'enseignement est conçue en deux leçons distinctes, chacune nécessitant l'utilisation de GeoGebra. Nous allons fournir à chaque élève un petit dossier servant de guide pour les activités proposées et de référence par la suite. Dans les deux classes, les élèves vont travailler en binôme, une décision motivée non seulement par notre désir de favoriser la collaboration entre les élèves, mais aussi par un manque de matériel informatique suffisant.

Leçon 1 :

L'objectif de cette première leçon est d'une part de familiariser les élèves avec le logiciel, leur permettant d'effectuer des manipulations simples, et d'autre part de les amener à manipuler quelques propriétés de figures de manière instrumentée. Nous avons choisi d'intégrer la découverte des fonctionnalités de GeoGebra dans les exercices plutôt que de séparer les moments théoriques et pratiques (voir annexe 2). Notre approche s'inscrit dans la dialectique entre l'ancien et le nouveau (voir section 2.1.3), visant à équilibrer l'enseignement traditionnel avec l'intégration de nouvelles technologies, comme le soulignent Assude et Gélis (2018). Notre choix a été également motivé par la volonté de proposer un apprentissage progressif de GeoGebra, et d'associer immédiatement les divers outils du logiciel à des questionnements ou des problématiques géométriques. En intégrant ainsi l'apprentissage de GeoGebra directement dans les exercices, nous capitalisons sur les connaissances préalables en géométrie des élèves tout en introduisant progressivement ce nouveau logiciel. L'objectif est de favoriser une transition fluide et efficace, pour faciliter l'acquisition de nouvelles compétences tout en renforçant celles déjà présentes.

1) Pour le premier exercice, notre objectif principal est de sensibiliser les élèves à un principe fondamental des logiciels de géométrie dynamique : l'utilisation d'outils spécifiques permet de construire des figures robustes, dont les propriétés sont directement fixées par les outils. Ainsi, le logiciel maintient les propriétés géométriques malgré les transformations des figures. De plus, nous souhaitons souligner l'importance d'utiliser un instrument pour valider les propriétés géométriques des figures. Comme le souligne Duval (2005), c'est un élément crucial dans la transition de la géométrie perceptive à la géométrie instrumentée. Toujours dans une optique de dialectique entre l'ancien et le nouveau, nous avons choisi de travailler sur le concept du

parallélisme, un sujet déjà abordé en classe avant cette intervention. Ainsi, en permettant aux élèves de travailler avec un nouvel outil tout en explorant un concept déjà connu, ce qui nécessite moins d'énergie cognitive, leur attention peut se concentrer sur l'apprentissage de GeoGebra.

L'exercice porte sur la manipulation de droites dans GeoGebra et l'introduction de l'outil "parallèle" (Figure 17, à droite). Il s'agit d'un exercice d'observation et de réflexion pour les élèves, qui s'inscrit dans une orchestration "Whole-class discuss-the-screen" (Drijvers et al., 2013) : l'enseignant effectue les manipulations, projetées sur le grand écran et les élèves ne manipulent pas eux-mêmes des figures sur leurs ordinateurs ou tablettes.

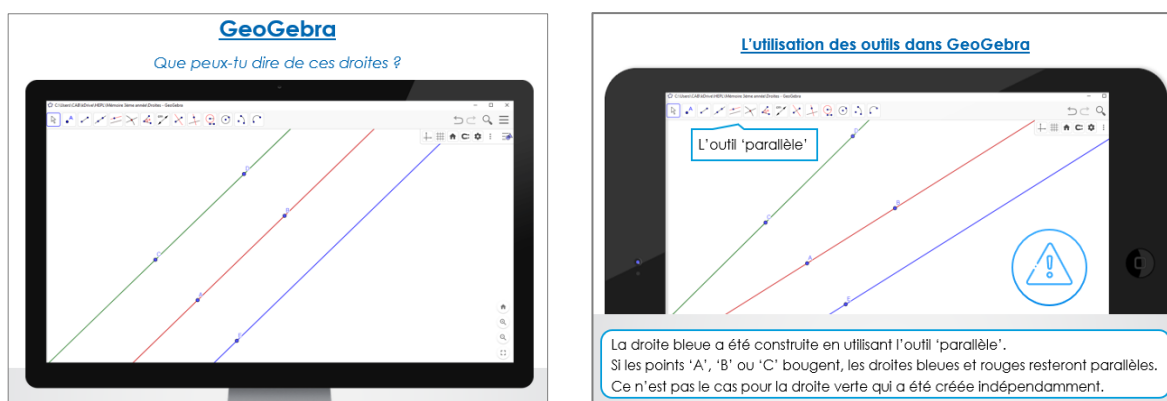


Figure 17 Intervention : leçon 1 - exercice 1

La droite bleue a été construite comme étant parallèle à la droite rouge avec l'outil "droite parallèle", tandis que la verte a été construite avec l'outil "droite" sans avoir précisé de relation avec la droite rouge. Nous avons volontairement disposé les droites de manière que leur apparence visuelle suggère qu'elles soient toutes parallèles (Figure 17, à gauche).

Nous supposons que, lorsque l'enseignant demandera aux élèves de formuler des hypothèses, la majorité identifiera toutes les droites comme étant parallèles. Cependant, lorsque l'enseignant manipulera des points qui définissent ces droites, nous anticipons que presque tous les élèves observeront que les droites bleues et rouges restent parallèles, contrairement à la droite verte (Figure 17, à droite). Nous pensons toutefois qu'aucun élève ne sera capable d'expliquer que cela est dû au fait que la droite bleue a été construite comme parallèle à la droite rouge avec l'outil "parallèle" et la droite verte tracée avec l'outil "droite".

Cet exercice vise donc à introduire le concept d'outils dans les logiciels de géométrie dynamique et à évaluer comment les élèves établissent des conclusions géométriques, dans ce cas sur le parallélisme de droites. Nous voulons voir s'ils utilisent uniquement la perception

visuelle ou s'ils se basent sur les propriétés géométriques à l'aide d'outils spécifiques, dans cet exercice, les outils intégrés à GeoGebra.

2) Le deuxième exercice, qui porte sur la construction d'un quadrilatère (Figures 18 et 19), est conçu pour apprendre aux élèves la construction de figures géométriques simples en utilisant les outils "point", "segment", "distance ou longueur" et "angle". Cet exercice s'inscrit dans la suite de l'exercice précédent et permet aux élèves d'explorer de nouveaux outils dans GeoGebra. Les outils spécifiques fixent les propriétés géométriques, que le logiciel maintiendra ensuite, indépendamment des transformations des figures.

Le scénario pédagogique de cette activité repose sur une orchestration "Whole-class Guide-and-explain" (Drijvers et al., 2013), l'enseignant explicitant chaque étape en détail, tandis que les élèves la répéteront sur leurs postes. Ainsi, ils pourront se référer aux manipulations effectuées par l'enseignant et projetées sur le grand écran, mais également à leur dossier. À travers cette modalité, notre objectif est que toute la classe avance simultanément et comprenne les outils grâce aux explications de l'enseignant.

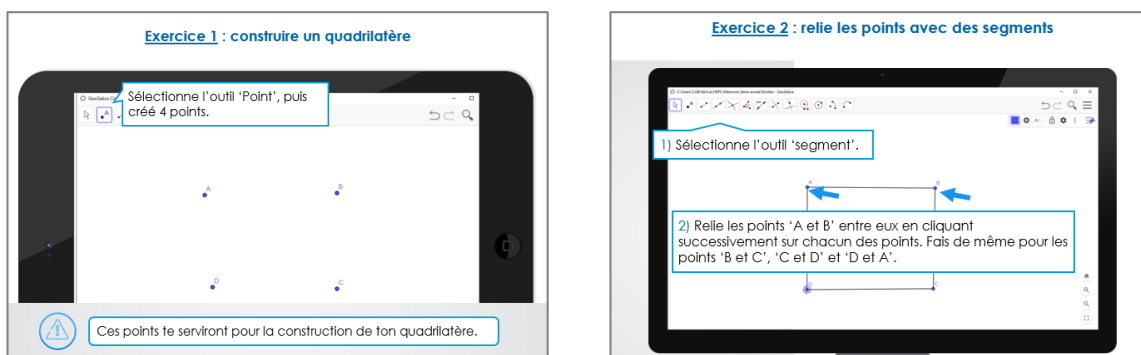


Figure 18 Intervention : leçon 1 - exercice 2

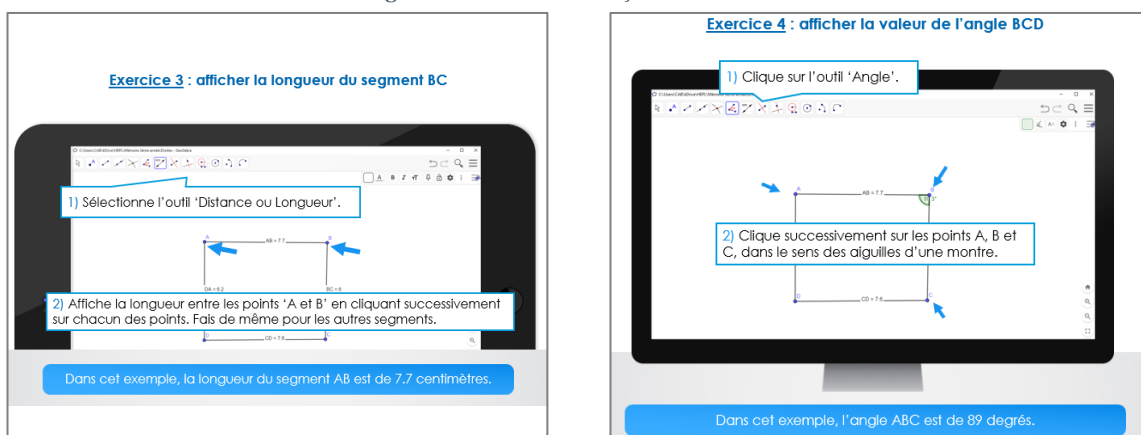


Figure 19 Intervention : leçon 1 - exercice 2

Une fois la construction du quadrilatère terminée, les élèves bougeront les points et observeront si la figure reste un quadrilatère, gardant les propriétés rappelées avant le début de l'exercice.

Notre anticipation pour cet exercice est que certains élèves rencontreront des difficultés à manipuler certains outils de GeoGebra, notamment dans la précision requise pour utiliser la souris ou avec le doigt sur la tablette. Nous avons également prévu des variations dans les rythmes de travail, ainsi que la possibilité que certains élèves soient tentés d'explorer d'autres fonctionnalités du logiciel. Cette partie de la leçon étant prévue pour être collective, nous clarifierons ce point au début.

Cet exercice, qui vise à établir une base commune dans l'utilisation de GeoGebra nécessaire pour la suite de la séquence d'enseignement, met en pratique le concept d'instrumentalisation décrit par Rabardel (1995). Notre objectif, en guidant toute la classe à travers les étapes de construction d'un quadrilatère, est de faciliter l'assimilation des outils de GeoGebra, pour que les élèves puissent ensuite les utiliser efficacement comme de réels instruments géométriques. La modalité collective de l'exercice nous permettra de socialiser le processus, en assurant que tous les élèves avancent au même rythme, ce qui réduira les disparités au sein des classes.

Les observations faites par les élèves en bougeant les points de la figure nous aideront à évaluer leur compréhension des propriétés géométriques des quadrilatères et à vérifier s'ils établissent des liens avec l'exercice précédent, notamment concernant la manière dont l'utilisation d'outils spécifiques permet de conserver ces propriétés géométriques.

Il nous permettra également de repérer les élèves ayant des besoins d'accompagnement et de soutien supplémentaire dans l'utilisation du logiciel.

3) Ensuite, nous laisserons un temps libre aux élèves pour leur permettre d'explorer le logiciel.

Nous supposons que certains élèves appliqueront les concepts et les outils découverts durant la leçon dans un contexte géométrique, tandis que d'autres verront ce moment comme un temps de jeux.

Ce moment vise à donner aux élèves l'opportunité d'apprendre en autonomie, mais il nous permettra également, dans une orchestration "Individual, work-and-walk-by" (Drijvers et al., 2012), de passer vers chacun et d'observer les activités, de répondre aux questions, et de recueillir des informations sur leur compréhension. Dans notre leçon, il représentera donc une opportunité privilégiée pour l'observation.

4) Le dernier exercice consiste en une analyse de deux figures géométriques, étant présentées de façon que leur apparence visuelle suggère que ce sont des carrés (Figure 20, à gauche). Cet exercice se déroulera à nouveau intégralement sur le grand écran, l'enseignant effectuant les manipulations dans une orchestration "Whole-class, Discuss-the-screen" (Drijvers et al., 2013).

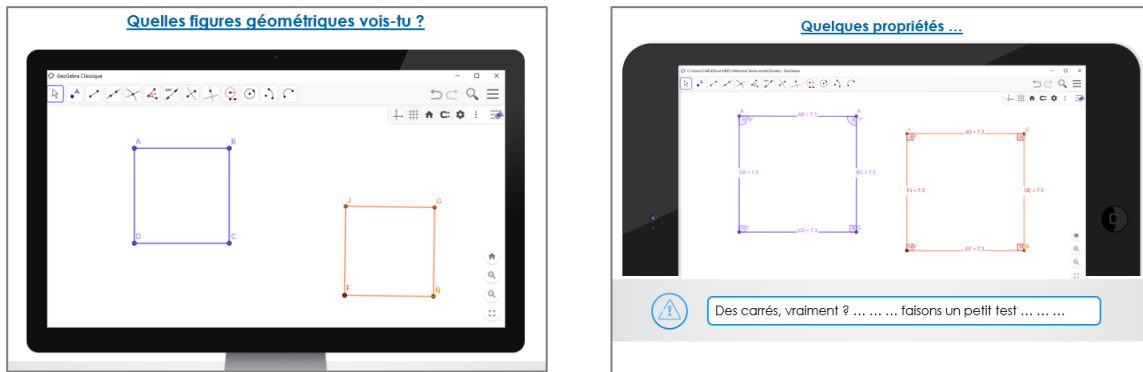


Figure 20 Intervention : leçon 1 - exercice 4

La figure orange a été construite en tenant compte de toutes les propriétés géométriques d'un carré, tandis que la figure bleue, bien qu'assemblée avec des points et des segments pour imiter visuellement la figure orange, ne respecte même pas les propriétés géométriques d'un losange. L'affichage des angles dans le logiciel indique que les angles de la figure bleue ne sont pas de véritables angles droits (Figure 20, à droite).

Nous anticipons que, bien que cet exercice soit similaire à celui des droites, réalisé en début de leçon, la majorité des élèves s'appuiera sur la visualisation iconique des deux formes. La disposition des figures devrait créer un conflit entre l'utilisation des propriétés pour l'analyse des figures et le mode cognitif basé sur leur reconnaissance visuelle. En conséquence, nous supposons que beaucoup identifieront initialement les deux figures comme étant des carrés.

Cet exercice est au cœur du processus de déconstruction dimensionnelle (voir 2.1 - Déconstruction dimensionnelle) et vise à encourager les élèves à reconnaître l'importance des propriétés géométriques et des vérifications à effectuer, à l'aide d'instruments, dans l'identification des figures géométriques. Il nous permettra d'abord de vérifier la compréhension de chacun concernant la définition d'un carré. De plus, cet exercice nous permettra de recueillir des données sur le mode de pensée des élèves : se fient-ils uniquement à leur perception visuelle ou raisonnent-ils avec des critères sur les propriétés géométriques et l'utilisation d'outils ?

Leçon 2 :

Lors de notre deuxième leçon, nous avons structuré les exercices en deux phases distinctes : un moment durant lequel les élèves observeront le contenu projeté sur l'écran principal et formuleront des hypothèses écrites, orchestré selon "Whole-class Observe-the-screen", une orchestration non explicitement décrite par Drijvers et al. (2013). Ensuite, un moment reposant sur une orchestration "Whole-class/Individual Discuss-the-screen", qui offrira aux élèves la

possibilité de manipuler les figures sur leurs tablettes ou ordinateurs tout en partageant et discutant collectivement de leurs observations et réflexions.

Avec cette leçon, nous souhaitons approfondir la compréhension des élèves sur les propriétés géométriques des figures planes, en particulier celles du carré et du losange (voir annexe 3). Le carré et ses propriétés ont déjà été étudiés en classe, contrairement au losange. Bien que les élèves reconnaissent la forme du losange, ses propriétés spécifiques n'ont pas encore été travaillées. Notre approche, reposant sur la dialectique entre l'ancien et le nouveau selon Assude et Gélis (2018), est motivée par le fait que, une fois GeoGebra intégrée à notre enseignement, nous pouvons explorer de nouveaux concepts géométriques.

Comme évoqué dans le cadre théorique, l'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique, qui conserve les propriétés des figures lors de manipulation, peut aider les élèves à comprendre que ces figures sont définies par leurs propriétés et non simplement par leur apparence visuelle. Par conséquent, les objectifs pour les élèves dans cette leçon sont, premièrement, de distinguer des figures géométriques en se basant sur leurs propriétés, et deuxièmement, de manipuler ces figures dans GeoGebra pour observer comment leurs propriétés réagissent aux modifications.

1) Le premier exercice porte sur l'observation de deux figures prédéfinies dans GeoGebra, qui, sous l'angle de la vision iconique, pourraient être identifiées comme deux carrés, deux losanges ou un carré et un losange (Figure 21 à gauche). L'exercice est réalisé de manière collective, les figures étant projetées sur le grand écran et les élèves devant attendre le signal de l'enseignant avant de manipuler les figures sur leurs ordinateurs ou tablettes. Leur tâche sera tout d'abord de noter leurs observations et expliquer les raisons pour lesquelles ils identifient certaines figures de cette manière. Après ce moment d'observation et de réflexion, ils auront la possibilité de manipuler les figures eux-mêmes.

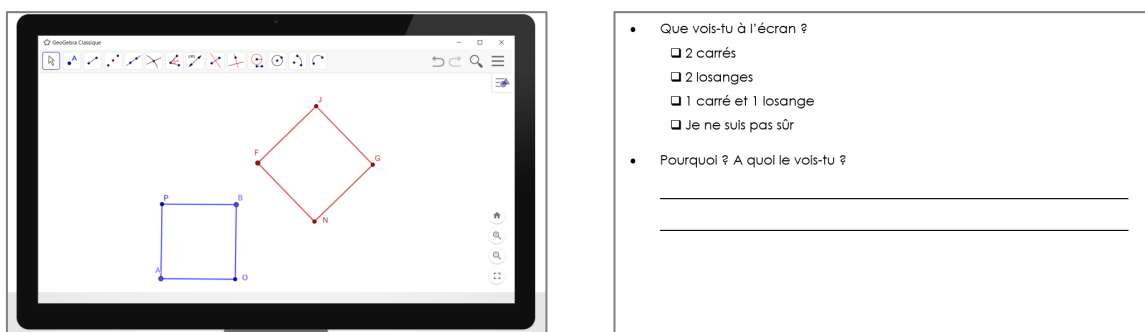


Figure 21 Intervention : leçon 2 - exercice 1

Dans GeoGebra, nous avons construit deux figures robustes, un carré (figure orange) et un losange (figure bleue), que nous avons positionnées de façon non prototypique. Les propriétés

du carré robuste restent inchangées malgré les manipulations. En revanche, le losange robuste peut être considéré comme un carré mou, car il peut se transformer en carré sous certaines conditions lorsqu'il est déplacé. Mis à part la labélisation des sommets, aucune autre indication n'est donnée, et l'accès à des instruments de vérification n'est pas proposé. En manipulant ces deux figures dans GeoGebra, les élèves pourront directement expérimenter les propriétés invariantes des figures géométriques. Notre intention est de les pousser à une analyse critique des propriétés géométriques des deux figures.

Nous supposons que la majorité des élèves identifiera les figures comme étant un carré (figure bleue) et un losange (figure orange), quelques-uns opteront pour deux carrés ou deux losanges, et seulement une minorité indiquera qu'elle n'est pas sûre. Nous serons particulièrement attentifs à ce que chacun ait écrit ses observations dans son dossier avant de manipuler les figures.

Quand les élèves déplaceront les points des deux figures, ils pourront observer que la transformation de la figure orange, un carré robuste, correspond à une isométrie ou une homothétie, toutes ses propriétés étant conservées. En revanche, ce ne sera pas le cas pour la figure bleue qui est un carré mou et dont les propriétés seront modifiées lors de la transformation.

Puis, lorsque nous partagerons les observations lors de la mise en commun, nous serons attentifs à questionner les élèves sans les orienter vers les propriétés spécifiques des figures ni vers l'utilisation d'instruments. Cela nous permettra de vérifier si l'initiative de ces démarches émane directement des élèves eux-mêmes, tout en déterminant lesquels s'appuient uniquement sur leur perception pour tirer des conclusions sur des figures géométriques, et ceux qui, dans une perspective plus instrumentée, réalisent qu'ils ne possèdent pas les informations suffisantes ou les outils nécessaires pour formuler des conclusions. Nous anticipons que certains élèves pourraient indiquer qu'ils ne sont pas sûrs, non pas parce qu'ils adoptent une perspective instrumentée, mais simplement parce qu'ils sont réellement incertains. Par conséquent, nous devons soigneusement corroborer nos suppositions en tenant compte des explications écrites données par les élèves.

Nous profiterons également de ce moment pour introduire de manière formelle les propriétés du losange. Nous ferons un récapitulatif des propriétés du carré, avant de demander à la classe de formuler des hypothèses sur les propriétés du losange. Nous interrogerons les élèves sur les comparaisons avec le carré : "Le losange a-t-il 4 côtés de même longueur, 4 angles droits, des côtés opposés parallèles, et 4 axes de symétrie ?". Cette compréhension sera nécessaire pour le

prochain exercice. Nous inscrirons les différentes propositions au tableau, en prenant soin à ce que les élèves prennent note correctement des propriétés identifiées.

2) Le deuxième exercice se concentrera sur les axes de symétrie des deux figures (Figure 22), avec un accent particulier sur les différences entre le carré et le losange. Initialement, la classe observera les figures projetées sur le grand écran et formulera des hypothèses. Ensuite, les élèves manipuleront les points des figures pour explorer s'il y a des axes de symétrie et si oui, de quelle façon ils sont influencés par ces changements.

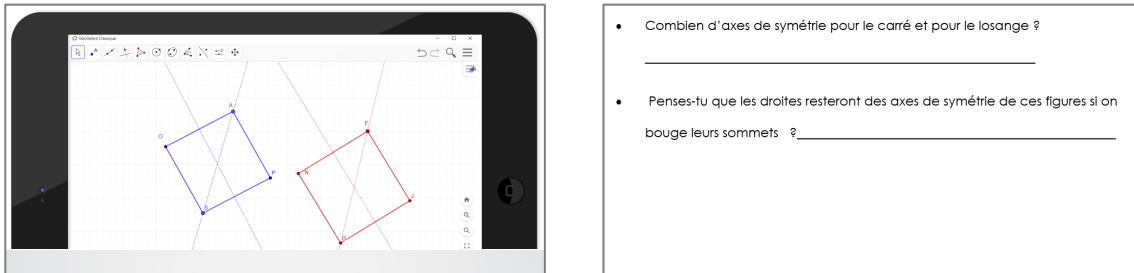


Figure 22 Intervention : leçon 2 - exercice 2

Dans GeoGebra, nous avons initialement affiché deux axes de symétrie pour le carré et un seul axe pour le losange (Figure 22, à gauche). Ensuite, pour le losange, nous avons ajouté une droite qui coupe les segments reliant les points O à A et B à P par leurs milieux. Visuellement, cette ligne pourrait être perçue comme un axe de symétrie pour la figure bleue, si celle-ci possédait les propriétés géométriques d'un carré. Pour des raisons de visibilité et afin d'éviter de surcharger l'écran avec trop d'informations, nous avons décidé de limiter le nombre d'"axes de symétrie" affichés à deux par figure.

Nous supposons que certains élèves pourraient initialement supposer que les axes de symétrie fonctionnent de la même manière pour le losange que pour le carré, surtout s'ils ne sont pas encore familiers avec les propriétés spécifiques du losange. D'autres élèves pourraient éprouver des difficultés à identifier correctement les axes de symétrie, surtout après avoir manipulé des points qui pourraient changer leur perception initiale de la figure. Toutefois, nous pensons qu'en déplaçant des points du losange, la plupart des élèves constateront que les droites affichées ne resteront pas des axes de symétrie, ce qui pourrait les surprendre ou les amener à réviser leurs hypothèses initiales.

D'une manière globale, cet exercice nous informera sur la compréhension des élèves du concept de symétrie axiale. Nous pourrions également observer leur capacité à utiliser certaines propriétés géométriques pour émettre des hypothèses sur les propriétés de symétrie de différentes figures géométriques. Dans cet exercice, partant du fait que le losange ne possède

pas nécessairement quatre angles droits comme le carré, nous verrons si les élèves peuvent en déduire que le losange ne possède que deux axes de symétrie.

Un autre élément important dans notre recherche sera d'observer comment les élèves perçoivent GeoGebra : considèrent-ils ce logiciel comme un outil leur permettant de valider ou d'infirmier leurs hypothèses ? Enfin, nous examinerons si les élèves modifient leurs hypothèses en fonction des résultats obtenus lors de leurs manipulations dans GeoGebra, ou s'ils conservent leur première impression.

4.4.2 Déroulement effectif

Dans le but de recueillir les données les plus pertinentes possibles, nous avons pris soin d'organiser l'intervention dans les deux classes de 6P sous des conditions similaires, tant en termes de variables didactiques que de déroulement. L'objectif était d'obtenir une vision objective des connaissances de tous les élèves, sans adaptation spécifique aux besoins individuels. Étant donné que les enseignants ont conduit les leçons seuls, la majorité de leur temps a été consacrée à la classe en collectif, sans avoir l'opportunité de se focaliser durablement sur des élèves en particulier. De même, se concentrant sur le déroulement des leçons, les deux enseignants ont trouvé difficile de capturer les commentaires des élèves durant les divers exercices. C'est pourquoi, bien que quelques commentaires généraux soient relayés dans cette partie, l'analyse a posteriori s'appuiera essentiellement sur les traces écrites des élèves. Les deux leçons ont été organisées sur une durée de deux périodes, soit 90 minutes, chacune.

Déroulé de la première leçon :

Lors de la leçon 1, dans le groupe A, un élève était absent, laissant 18 élèves présents. La leçon s'est déroulée en classe où les élèves ont travaillé en binômes sur des tablettes, avec l'enseignante projetant sa session sur le grand écran. Dans le groupe B, 22 élèves sur 24 étaient présents. La leçon s'est tenue en salle informatique, les élèves travaillant également en binômes, mais sur des ordinateurs, et l'enseignant a, de même, projeté sa session sur le grand écran.

La leçon dans les deux classes a débuté par un moment organisationnel où les élèves se sont installés aux places qui leur étaient attribuées. Les binômes avaient été formés à l'avance par les enseignants, qui ont pris en compte non seulement les connaissances des élèves en géométrie, mais aussi leurs comportements. Le but était de créer des groupes homogènes en termes de compétences, tout en veillant à ce que les binômes puissent travailler calmement et efficacement. Ensuite, les enseignants ont effectué un rappel des règles à observer lors de

l'utilisation du matériel informatique, et ont informé les élèves du micro-objectif "L'élève sera capable de faire des manipulations simples dans le logiciel GeoGebra.", et du déroulé de la leçon.

De manière générale, nous avons constaté que le format proposé a enthousiasmé tous les élèves, car ils se sont montrés volontaires et ont participé activement. Nous n'avons pas été confrontés à des problèmes disciplinaires dans l'une ou l'autre des classes, chacun ayant été respectueux envers le matériel. Toutefois, nous avons observé que certains élèves éprouvaient des difficultés à détourner leur attention de l'ordinateur ou de la tablette pour se concentrer sur les explications données par les enseignants, sur le contenu projeté sur le grand écran ou pour participer à la discussion collective. Nous avons également réussi à suivre le planning prévu et à effectuer toutes les tâches que nous avons programmées pour la leçon.

Au cours de la discussion orale qui a eu lieu durant le premier exercice, beaucoup d'élèves ont évoqué des droites et quelques-uns ont précisé qu'elles étaient parallèles. Aucun élève dans les deux classes n'a pu identifier que c'était à l'aide des outils de GeoGebra que certaines propriétés géométriques avaient été fixées.

Concernant l'utilisation du matériel informatique et les actions dans GeoGebra, nous n'avons pas relevé de différences notables lors de nos mises en commun. Dans chaque classe, nous avons observé que les élèves se sont spontanément attribués des rôles d'"acteur" et d'"observateur" qui n'étaient pas toujours équitablement répartis dans tous les groupes. Cela ne nous a pas semblé poser de problème majeur, car notre objectif principal était que les élèves apprennent par l'observation des manipulations des figures géométriques dans le logiciel, nous ne sommes donc pas intervenus. A posteriori, nous nous interrogerons si notre choix nous a empêchés d'identifier les élèves qui auraient rencontré des difficultés avec l'utilisation du matériel et les actions dans GeoGebra, ce que nous avons pourtant prévu de faire, comme mentionné au point 2 de l'analyse a priori.

Notre hypothèse selon laquelle certains groupes verraient le moment de découverte du logiciel comme un moment de jeu s'est avérée correcte. En effet, certains groupes ont davantage mis en avant leurs talents artistiques, créant des formes multiples, complexes et graphiquement impressionnantes. En les questionnant, nous avons confirmé qu'ils ne voyaient pas cette activité dans une perspective d'apprentissage de la géométrie. Nous leur avons donc suggéré d'essayer de construire des figures planes que nous avons étudiées précédemment en classe.

Finalement, lors du dernier exercice, bien que les deux classes aient majoritairement répondu que les figures étaient des carrés, quelques élèves ont émis l'idée de vérifier les propriétés géométriques pour confirmer leurs hypothèses.

Déroulé de la deuxième leçon :

Lors de la leçon 2, dans le groupe A, un élève était absent, laissant 18 élèves présents. La leçon s'est déroulée en classe où les élèves ont travaillé en binômes sur des tablettes, avec l'enseignante projetant sa session sur le grand écran. Dans le groupe B, 18 élèves sur 24 étaient présents. La leçon s'est tenue en salle informatique, les élèves travaillant également en binômes, mais sur des ordinateurs, et l'enseignant a, de même, projeté sa session sur le grand écran.

Pour assurer une certaine continuité et pour accélérer le démarrage de la leçon, nous avons choisi de conserver la composition des binômes comme lors de la première leçon. Les élèves se sont à nouveau montrés enthousiastes à l'idée de cette nouvelle leçon sur GeoGebra. Pour cette leçon aussi, nous avons réussi à suivre le planning prévu et à effectuer toutes les tâches que nous avons programmées.

Dans notre analyse a priori, nous avons expressément prévu de laisser suffisamment de temps à chacun pour noter ses observations avant d'explorer le logiciel. En ayant cela à l'esprit, nous avons insisté dans nos classes respectives sur ce point. Le fait de cocher la case pour indiquer son interprétation des figures projetées à l'écran s'est fait rapidement par tous. Cependant, dans les deux classes, nous avons observé des disparités significatives entre les élèves concernant l'explication des raisons de leur choix, tant en termes de temps nécessaire que de qualité des explications. Certains élèves n'avaient rien ou très peu écrit après quelques minutes.

Les échanges oraux lors des deux exercices se sont bien déroulés, avec une participation active des élèves. Cependant, les hypothèses et les justifications exprimées étaient variées, surtout lors du premier exercice. Certains élèves identifiaient un carré et un losange, tandis que d'autres voyaient deux carrés ou deux losanges.

Ce qui a dépassé nos attentes par rapport à nos suppositions initiales mentionnées dans l'analyse a priori concerne la réaction des élèves après avoir manipulé les points du carré et du losange. De manière générale, et sur la base plutôt de ressentis que de données quantitatives, nous pouvons affirmer que la majorité des binômes a exprimé à haute voix que leurs hypothèses initiales étaient incorrectes. Toutefois, durant la mise en commun, en interrogeant les classes, nous avons constaté qu'ils ne semblaient pas faire de liens directs entre les transformations des deux figures et leurs propriétés géométriques ni avec les outils de GeoGebra utilisés pour

construire les figures. Comme les figures n'ont pas été construites par les élèves dans le logiciel, il est compréhensible qu'il leur soit difficile de faire des liens avec les outils de GeoGebra.

De plus, nous avons eu l'impression que la compréhension des axes de symétrie des deux figures n'était pas encore totalement acquise par tous. Si les élèves arrivaient à énoncer que le carré possède quatre axes de symétrie, l'extrapolation de cette notion à d'autres figures, comme le losange, s'est montrée hors de portée pour la plupart d'entre eux.

4.4.3 Analyse a posteriori

Comme évoqué dans le chapitre précédent, l'analyse a posteriori repose essentiellement sur les données écrites que les élèves ont produites durant les deux leçons. En conséquence, seuls les exercices pour lesquels nous avons récolté des données seront analysés dans cette partie.

Première leçon

1) Pour le premier exercice, selon ce que nous avons observé lors de la discussion orale, la majorité des élèves a en effet identifié les figures projetées à l'écran comme étant des droites, et certains ont spécifiquement mentionné qu'elles étaient parallèles. Afin d'analyser les réponses systématiquement, nous avons classé les réponses des élèves en trois catégories : celles mentionnant explicitement le parallélisme des droites affichées et les autres réponses. Nous avons choisi de ne pas prendre en compte les autres éléments mentionnés par les élèves, tels que les couleurs ou les lettres, pour concentrer notre analyse sur leur compréhension des propriétés géométriques des figures. Le Tableau 6 montre un aperçu global des réponses des deux classes :

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"Parallèles"	11 (61%)	7 (35%)	18 (50%)
Autre	5 (28%)	13 (65%)	18 (50%)

Tableau 6 réponses intervention, leçon 1, exercice 1, classes A & B⁴

À la question "Comment peux-tu en être certain ?", nous avons reçu une grande variété de réponses, allant de "à l'aide d'une équerre" à "parce que je le vois" en passant par "parce que les lignes ne se touchent jamais". Nous avons catégorisé ces réponses de la manière

⁴ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

suivante : celles qui décrivent la propriété géométrique du parallélisme ou qui impliquent une vérification instrumentale à l'aide d'une équerre et les autres réponses (Tableau 7).

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"Propriété géométrique ou Équerre"	3 (19%)	3 (15%)	6 (17%)
Autre	13 (81%)	17 (85%)	30 (83%)

Tableau 7 catégorisation des réponses intervention, leçon 1, exercice 1, classes A & B⁵

Ce premier exercice nous révèle que la moitié des élèves a employé un vocabulaire géométrique et la propriété géométrique "parallèle" pour décrire les objets affichés à l'écran (Tableau 7). L'écart devient toutefois beaucoup plus marqué lorsque les élèves doivent justifier leurs affirmations : moins de vingt pour-cent d'entre eux ont fourni une explication dans leurs propres mots du parallélisme ou proposé l'utilisation d'un instrument approprié, comme l'équerre, pour vérifier les propriétés géométriques et ainsi valider leurs déclarations. Nous pouvons donc conclure qu'à ce stade de l'expérimentation, seulement un cinquième des élèves adopte une approche de géométrie instrumentée.

- 2) Pour l'exercice montrant une construction robuste d'un carré et une construction molle d'un carré, les descriptions des élèves étaient largement unanimes : les trois quarts des élèves ont identifié deux carrés. Seule une minorité a mentionné des "rectangles", des "figures colorées" ou des "figures géométriques". Nous avons classé les réponses en deux catégories : celles décrivant explicitement deux carrés et les autres (Tableau 8). Les informations supplémentaires telles les couleurs, les points ou les dimensions n'ont pas été prises en compte.

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"Deux carrés"	11 (69%)	18 (90%)	29 (81%)
Autre	5 (31%)	2 (10%)	7 (19%)

Tableau 8 réponses intervention, leçon 1, exercice 2, classes A & B⁶

Concernant les réponses à la question "Comment peux-tu le vérifier ?", certains élèves ont mentionné l'utilisation d'une équerre pour confirmer leurs observations. Bien que personne

⁵ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

⁶ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

n'ait explicitement utilisé le terme "propriété géométrique", nous émettons l'hypothèse que les élèves pensaient implicitement à la vérification des propriétés géométriques.

Certains élèves ont mentionné "4 angles droits et 4 côtés de même longueur" sans évoquer de validation alors que d'autres ont proposé de vérifier "en mesurant les deux carrés" sans évoquer de propriétés géométriques. Ce type de réponses étant difficiles à catégoriser, nous avons décidé, comme pour le premier exercice, de classer les réponses ainsi : celles impliquant une vérification instrumentale à l'aide d'une équerre, et les autres réponses (Tableau 9).

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"Équerre"	5 (31%)	4 (20%)	9 (25%)
Autre	11 (69%)	16 (80%)	27 (75%)

Tableau 9 catégorisation des réponses intervention, leçon 1, exercice 2, classes A & B⁷

Bien que ces résultats montrent une légère progression par rapport au premier exercice, il est clair que pour la majorité des élèves, certaines connaissances sont seulement partiellement acquises (Tableau 8). Ils ne sont pas encore capables de faire les liens nécessaires entre la connaissance des propriétés géométriques des figures et leur vérification à l'aide d'instruments. Par conséquent, nous pouvons en conclure qu'ils se trouvent entre une géométrie perceptive et une géométrie instrumentée.

Deuxième leçon

- 1) Le premier exercice de notre deuxième leçon impliquait l'observation de deux figures placées de manière non prototypique. Les réponses des élèves se répartissent entre les quatre options de réponse que nous avons proposées, avec une légère préférence pour l'option "2 carrés" (Tableau 10).

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"2 carrés"	7 (44%)	14 (70%)	21 (58%)
"2 losanges"	2 (13%)	0 (0%)	2 (6%)
"1 carré et 1 losange"	5 (31%)	5 (25%)	10 (28%)
Autre	2 (13%)	1 (5%)	3 (8%)

⁷ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

Tableau 10 réponses intervention, leçon 2, exercice 1, classes A & B⁸

En analysant les réponses reçues à la question "Pourquoi ? À quoi le vois-tu ?", nous avons réalisé que la formulation de notre question, utilisant le verbe "voir", peut suggérer aux élèves qu'il s'agit d'une tâche d'analyse visuelle. Nous avons dans l'ensemble reçu beaucoup de réponses évoquant complètement ou partiellement les propriétés géométriques du carré, voire du losange. De plus, deux élèves ont décrit le carré comme étant un "losange particulier". Par conséquent, les réponses fournies par les élèves ne nous permettent pas d'effectuer une analyse granulaire. Nous nous limitons donc aux catégories des réponses incluant des notions de propriétés géométriques et les autres (Tableau 11).

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"Propriétés géométriques"	7 (44%)	10 (50%)	17 (47%)
Autre	9 (56%)	10 (50%)	19 (53%)

Tableau 11 catégorisation des réponses intervention, leçon 2, exercice 1, classes A & B⁹

Le constat que nous pouvons établir à la suite de cet exercice est l'utilisation par près de la moitié des répondants d'un langage géométrique, avec des références aux propriétés géométriques des figures.

- 2) Le second exercice de la leçon portait sur les propriétés de symétrie du carré et du losange. Comme indiqué dans la section "Conception", cet exercice a permis de vérifier la compréhension des élèves concernant la symétrie axiale et son application aux figures du carré et du losange. Nous avons classifié les réponses obtenues en quatre catégories : celles indiquant correctement le nombre d'axes de symétrie pour les deux figures, celles correctes pour le carré, celles correctes pour le losange, et les autres réponses (Tableau 12).

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"Deux figures correctes"	7 (44%)	15 (75%)	22 (61%)
"Correct pour le carré"	5 (31%)	1 (5%)	6 (17%)
"Correct pour le losange"	3 (19%)	0 (0%)	3 (8%)
Autre	1 (6%)	4 (20%)	5 (14%)

Tableau 12 réponses intervention, leçon 2, exercice 2, classes A & B¹⁰

⁸ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

⁹ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

¹⁰ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

Concernant la question "Penses-tu que les droites resteront des axes de symétrie de ces figures si on bouge leurs sommets ?", un seul élève a correctement répondu "oui pour le carré, non pour le losange". Les autres réponses variaient entre "oui", "non" ou d'autres interprétations. Sur cette base, nous avons opté pour deux catégories de réponses : les réponses négatives, que nous considérons comme étant plus proches de la réalité, et les autres réponses. La réponse entièrement correcte a été incluse dans la catégorie des réponses négatives (Tableau 13).

Réponses	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
"Réponses négatives"	5 (31%)	11 (55%)	16 (44%)
Autre	11 (69%)	9 (45%)	20 (56%)

Tableau 13 catégorisation des réponses intervention, leçon 2, exercice 2, classes A & B¹¹

En concevant cet exercice, nous pensions pouvoir évaluer la compréhension des élèves du concept de symétrie axiale, ainsi que leur aptitude à appliquer les propriétés géométriques pour formuler des conclusions sur les propriétés de symétrie de différentes figures. Cependant, les réponses récoltées lors de cet exercice ne nous fournissent pas suffisamment de données pour établir de conclusions claires à ce stade.

Avant de terminer cette analyse a posteriori de notre intervention, il est important de souligner deux facteurs susceptibles d'avoir influencé les réponses obtenues. Premièrement, les différences entre les réponses des deux classes pourraient être partiellement attribuées aux apprentissages en géométrie réalisés préalablement dans chaque classe. Deuxièmement, le travail en binôme des élèves dans les deux classes a probablement aussi joué un rôle, comme le montre la similitude des réponses dans certains binômes.

En conclusion, nous avons observé une progression dans l'utilisation du langage géométrique et les approches des élèves vis-à-vis des exercices proposés, ce qui démontre que beaucoup sont en pleine transition de la géométrie perceptive vers la géométrie instrumentée. Cependant, en se basant sur les données récoltées, il est difficile de déterminer l'impact du logiciel de géométrie dynamique dans le soutien ou l'accélération de cette transition.

¹¹ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

4.5 Post-test

À l'issue de notre intervention, nous avons réalisé un post-test (voir annexe 1) similaire au pré-test. Ce post-test a été fait quelques semaines après la fin de l'intervention.

L'objectif était d'évaluer si notre intervention a contribué à améliorer les connaissances en géométrie des élèves, et également de déterminer l'impact de l'utilisation de GeoGebra sur leur vision géométrique en les répartissant à nouveau en trois groupes : géométrie perceptive, instrumentée ou entre les deux. L'analyse des résultats des élèves dans le post-test a suivi une méthodologie similaire à celle du pré-test, en attribuant des points aux réponses écrites des élèves.

4.5.1 Déroulé du post-test

Le post-test a été effectué par les deux classes de 6P dans des conditions similaires. Lors de la passation du post-test, dans le groupe A, deux élèves étaient absents. Ainsi, 17 élèves étaient présents. Dans le groupe B, les 24 élèves étaient présents.

Avant de commencer le post-test, nous avons passé en revue les consignes avec chaque classe, veillant à ne pas influencer les résultats. Ensuite, les élèves ont été autorisés à commencer les exercices dans l'ordre de leur choix.

Nous avons remarqué que dans les deux classes, tous les élèves ont utilisé une équerre pour réaliser le post-test, ce qui n'était pas le cas lors du pré-test.

Aucune limite de temps n'a été imposée. Après avoir corrigé et analysé les post-tests, les enseignants ont fourni un retour formatif aux deux classes.

4.5.2 Analyse a posteriori

A posteriori, après avoir réalisé le post-test en classe, nous avons classé les élèves en fonction des points qu'ils ont obtenus dans le post-test.

Comme pour le pré-test, nous avons considéré que les élèves qui ont obtenu entre 17 et 18 points ont montré une compréhension avancée des figures géométriques, identifiant correctement les figures et leurs propriétés ; nous les avons ainsi classés dans la géométrie instrumentée. Ceux qui ont obtenu des scores partiels (12 à 16 points) ont généralement bien performé, mais ont commis quelques erreurs ou ont montré des lacunes dans la compréhension ; ces élèves sont comptés dans la catégorie "partiellement" ils ont donc en transition vers une vision instrumentée de la géométrie. Enfin, les élèves qui ont obtenu 11 points ou moins ont

montré une compréhension limitée des concepts géométriques et ont commis plusieurs erreurs dans l'identification des figures ; nous estimons qu'ils sont encore dans la géométrie perceptive.

Le Tableau 14 ci-dessous montre les résultats du post-test de la classe A :

Élèves (A)	Exercice 1 (15 points)	Exercice 3 (3 points)	Total (18 points)	Classification
1	12	3	15	Partiellement
2	12	3	15	Partiellement
3	4	2	7	Perceptive
4	14	2	16	Partiellement
5	14	3	17	Instrumentée
6	15	3	18	Instrumentée
7	15	3	18	Instrumentée
8	10	1	11	Perceptive
9	13	3	16	Partiellement
10	14	3	17	Instrumentée
11	15	3	18	Instrumentée
12	15	2	17	Instrumentée
13	14	3	17	Instrumentée
14	14	3	17	Instrumentée
15	15	3	18	Instrumentée
16	15	2	17	Instrumentée

Tableau 14 réponses et catégorisation du post-test, classe A¹²

Dans la classe A, selon notre classification, nous constatons que 10 élèves sont dans une géométrie instrumentée, 4 élèves sont entre les deux géométries et 2 élèves ont une vision perceptive de la géométrie.

Pour la classe B, la synthèse des résultats est la suivante (Tableau 15) :

Élèves (B)	Exercice 1 (15 points)	Exercice 3 (3 points)	Total (18 points)	Classification
1	15	1	16	Partiellement
2	15	3	18	Instrumentée
3	15	3	18	Instrumentée

¹² Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

4	15	0	15	Partiellement
5	15	3	18	Instrumentée
6	15	3	18	Instrumentée
7	12	2	14	Partiellement
8	14	3	17	Instrumentée
9	7	1	8	Perceptive
10	14	3	17	Instrumentée
11	12	3	15	Partiellement
12	15	3	18	Instrumentée
13	11	1	12	Partiellement
14	14	3	17	Instrumentée
15	11	3	14	Partiellement
16	15	1	16	Partiellement
17	15	3	18	Instrumentée
18	14	3	17	Instrumentée
19	13	1	14	Partiellement
20	15	3	18	Instrumentée

Tableau 15 réponses et catégorisation du post-test, classe B¹³

Dans la classe B, selon notre classification, nous constatons que 11 élèves sont dans une géométrie instrumentée, 8 élèves sont en transition et 1 élève a une vision perceptive de la géométrie.

Le Tableau 16 montre un aperçu général de la classification des deux classes pour les résultats du post-test.

Classification	Classe A 16 élèves	Classe B 20 élèves	Total 36 élèves
Perceptive	2 (13%)	1 (5%)	3 (8%)
Partiellement	4 (25%)	8 (40%)	12 (33%)
Instrumentée	10 (63%)	11 (55%)	21 (58%)

Tableau 16 réponses et catégorisation du post-test, classes A & B¹⁴

Les résultats du post-test révèlent qu'une majorité d'élèves (58%) sont classés dans la catégorie "instrumentée", selon notre évaluation. Une observation intéressante est que la classe A compte

¹³ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

¹⁴ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

une proportion plus élevée d'élèves classés ainsi par rapport à la classe B. En effet, dans la classe A, 63% des élèves sont classés comme "instrumentés", tandis que dans la classe B, cette proportion est légèrement inférieure, avec 55% d'élèves classés de la même manière.

Dans les deux classes, le nombre d'élèves que nous identifions comme ayant une vision "perceptive" est très faible, seulement 3 élèves de l'échantillon (8%). Ces résultats soulignent que la majorité des élèves dans nos classes ont une perspective instrumentée ou sont en transition entre les deux visions de la géométrie.

4.6 Confrontation pré-test / post-test

Afin de mesurer l'incidence de notre intervention sur les apprentissages des élèves, nous allons confronter et analyser les résultats obtenus au pré-test et au post-test.

Dans l'analyse des résultats du pré-test, nous avons montré et analysé trois traces d'élèves que nous avons classés dans les trois catégories. Afin de mesurer l'impact de notre séquence sur les apprentissages de ces élèves, nous allons confronter leur pré-test et leur post-test.

Élève "instrumentée" au pré-test :

Lors du pré-test, l'élève avait obtenu 18 points. Elle n'avait commis aucune erreur. Nous présentons ci-dessous la comparaison avec le post-test qu'elle a réalisé.

Exercice 1 :

Evaluation diagnostique : connaissance des figures géométriques

1 Parmi les figures suivantes, lesquelles sont :

des carrés? C

des rectangles? G, A

des losanges? H, E, D

des triangles? b

Figure 23 Pré-test ex. 1 : élève "instrumentée"

1 Parmi les figures suivantes, lesquelles sont :

des carrés? C, L

des rectangles? G, A

des losanges? E, D

des triangles? b, i

Figure 24 Post-test ex. 1 : élève "instrumentée"

- Pré-test : 15 points (Figure 23)
- Post-test : 14 points (Figure 24)
- Durant le post-test, l'élève n'a pas identifié le losange "H".

Exercice 3 :

3 Identifie la figure géométrique en fonction des caractéristiques données :

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits.
Qui suis-je ? losange

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes.
Qui suis-je ? rectangle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits.
Qui suis-je ? carre

Figure 25 Pré-test ex. 3 : élève "instrumentée"

3 Identifie la figure géométrique en fonction des caractéristiques données :

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits. ✓
Qui suis-je ? losange

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes. ✓
Qui suis-je ? un rectangle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits. ✓
Qui suis-je ? un carré

Figure 26 Post-test ex. 3 : élève "instrumentée"

- Pré-test : 3 points (Figure 25)
- Post-test : 3 points (Figure 26)
- L'élève a réalisé la même performance entre le pré-test et le post-test pour cet exercice.

Après avoir analysé le post-test de cette élève, nous constatons qu'elle obtient 17 points. Elle a commis une erreur, mais elle reste dans la catégorie des élèves que nous avons identifiés comme étant dans la géométrie instrumentée.

Élève "partiellement" au pré-test :

Lors du pré-test, l'élève avait obtenu 15 points au total.

Exercice 1 :

Evaluation-diagnostique : connaissance des figures géométriques

1 Parmi les figures suivantes, lesquelles sont :

des carrés ? د. ج.

des rectangles ? ب.

des losanges ? هـ. ز. ح.

des triangles ? ا. د. ب.

Figure 27 Pré-test ex. 1 : élève "partiellement"

Connaissance des figures géométriques

1 Parmi les figures suivantes, lesquelles sont :

des carrés ? C

des rectangles ? A, G

des losanges ? E, H, J

des triangles ? B, I

Figure 28 Post-test ex. 1 : élève "partiellement"

- Pré-test : 13 points (Figure 27)
- Post-test : 15 points (Figure 28)
- L'élève a identifié correctement le rectangle "G" dans le post-test et n'a fait aucune erreur.

Exercice 3 :

3 Identifie la figure géométrique en fonction des caractéristiques données :

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits.
Qui suis-je ? le cercle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes.
Qui suis-je ? un rectangle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits.
Qui suis-je ? le carré

Figure 29 Pré-test ex. 3 : élève "partiellement"

3 Identifie la figure géométrique en fonction des caractéristiques données :

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits. ✓
Qui suis-je ? le cercle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes. ✓
Qui suis-je ? rectangle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits. ✓
Qui suis-je ? carré

Figure 30 Post-test ex. 3 : élève "partiellement"

- Pré-test : 2 points (Figure 29)

- Post-test : 2 points (Figure 30)
- L'élève a réalisé le même nombre de points entre le pré-test et le post-test pour cet exercice. Cependant, elle arrive désormais à reconnaître les propriétés du losange.

L'élève a obtenu 17 points au post-test. Selon notre classification, elle a désormais une vision instrumentée de la géométrie.

Élève "perceptive" au pré-test :

L'élève a eu 11 points au pré-test.

Exercice 1 :

Evaluation-diagnostique : connaissance des figures géométriques

1 Parmi les figures suivantes, lesquelles sont :

des carrés ? g

des rectangles ? a

des losanges ? e, h, j, d, c

des triangles ? i, b

Figure 31 Pré-test ex. 1 : élève "perceptive"

Connaissance des figures géométriques

1 Parmi les figures suivantes, lesquelles sont :

des carrés ? g, c

des rectangles ? a

des losanges ? h, d, e, j

des triangles ? i, b

Figure 32 Post-test ex. 1 : élève "perceptive"

- Pré-test : 10 points (Figure 31)
- Post-test : 12 points (Figure 32)
- Dans le post-test, l'élève a réussi à placer correctement le carré "C". Nous pensons qu'elle a été capable de contourner sa difficulté initiale qui était liée à la vision de la position des figures.

Exercice 3 :

3 Identifie la figure géométrique en fonction des caractéristiques données :

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits.
Qui suis-je ? carré

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes.
Qui suis-je ? rectangle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits.
Qui suis-je ? losange

Figure 33 Pré-test ex. 3 : élève "perceptive"

3 Identifie la figure géométrique en fonction des caractéristiques données :

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits.
Qui suis-je ? losange

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes.
Qui suis-je ? rectangle

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits.
Qui suis-je ? carré

Figure 34 Post-test ex. 3 : élève "perceptive"

- Pré-test : 1 point (Figure 33)
- Post-test : 3 points (Figure 34)
- Lors du pré-test, l'élève avait reconnu uniquement les propriétés du rectangle. Désormais, elle est capable de différencier les propriétés géométriques du carré et du losange.

L'élève a obtenu 15 points au post-test. Selon notre classification, elle est désormais en transition entre les deux géométries. Son évolution entre le début et la fin de séquence montre

d'une meilleure compréhension des concepts géométriques que nous avons abordés durant l'intervention.

En confrontant les pré-test et post-test de nos élèves, nous avons analysé le travail de l'un des élèves de la classe A qui nous a particulièrement marqués. Il s'agit de l'élève 15 qui a été identifié comme ayant une vision perceptive de la géométrie avant la séquence. Il a obtenu 11 points sur son pré-test. Après l'intervention, l'élève a eu 18 points pour le post-test. En se basant sur notre classification, l'apprenant est passé d'une vision perceptive à une vision instrumentée de la géométrie.

De manière plus globale, nous allons comparer les pourcentages de chaque classification (perceptive, partiellement et instrumentée) pour les deux groupes (classe A et classe B). Voici une comparaison des pourcentages pour chaque classification entre le pré-test et le post-test dans les deux classes (Tableau 17 et Tableau 18) :

Classe A	Pré-test (%)	Post-test (%)	Évolution
Perceptive	13	13	0
Partiellement	69	25	- 44
Instrumentée	19	63	+ 44

Tableau 17 résultats du pré-test et du post-test, classe A¹⁵

Classe B	Pré-test (%)	Post-test (%)	Évolution
Perceptive	5	5	0
Partiellement	40	40	0
Instrumentée	55	55	0

Tableau 18 résultats du pré-test et du post-test, classe B¹⁶

En analysant ces données, nous pouvons observer des changements dans les pourcentages pour chaque classification entre le pré-test et le post-test dans les deux classes. Par exemple, dans la classe A, il y a eu une diminution significative du pourcentage d'élèves classés comme "partiellement", tandis que le pourcentage d'élèves classés comme "instrumentée" a augmenté de manière notable. Pour la classe B, les résultats montrent que les classifications sont restées exactement identiques. Dans le Tableau 18, les élèves que nous avons classés dans les catégories ne sont pas les mêmes entre le pré-test et le post-test. Nous observons une régression

¹⁵ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

¹⁶ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

ce que nous remettons en discussion. De manière plus globale, en confrontant les résultats des deux classes (Tableau 19), nous observons qu'il y a une augmentation du nombre d'élèves ayant une vision instrumentée de la géométrie à la suite de l'intervention. Par ailleurs, il y a moins d'élèves qui sont en transition entre les deux géométries. La proportion d'élèves que nous qualifions de "perceptifs" n'a pas évolué.

Classification	Pré-test (%)	Post-test (%)	Évolution
Perceptive	8	8	0
Partiellement	53	33	- 20
Instrumentée	39	58	+ 19

Tableau 19 résultats du pré-test et du post-test, classes A & B¹⁷

Ces résultats suggèrent que l'intervention a eu un impact différent dans les deux classes, avec des changements plus prononcés dans la classe A. Cependant, une analyse plus approfondie sera nécessaire pour comprendre pleinement les raisons de ces variations et les implications pour l'efficacité de l'intervention sur les apprentissages des élèves. Nous discuterons de ces aspects dans le prochain chapitre de notre mémoire.

5 DISCUSSION

Dans cette partie, nous allons interpréter les résultats de notre expérimentation au regard des hypothèses que nous avons formulées et évaluer globalement l'efficacité de GeoGebra dans l'apprentissage de la géométrie, en particulier dans la transition de la géométrie perceptive à la géométrie instrumentée par des élèves de 6P.

5.1 Évaluation des hypothèses

Hypothèse 1

Notre première hypothèse supposait que GeoGebra, grâce à son interactivité et à la possibilité de visualiser les actions en temps réel, faciliterait la manipulation active de figures géométriques par les élèves, les poussant ainsi vers une réflexion plus instrumentée de la géométrie. Lors de l'intervention, nous avons en effet constaté un vif intérêt des élèves pour la manipulation des figures géométriques à l'aide du logiciel de géométrie dynamique. Basés sur leurs observations, ils ont commencé à remettre en question les conclusions qu'ils avaient précédemment établies. Néanmoins, les données récoltées présentent une vue plus nuancée. En effet, bien que les

¹⁷ Seuls les résultats des élèves présents pendant toute la durée de l'expérimentation ont été pris en compte.

résultats du post-test montrent une augmentation significative de la capacité des élèves à reconnaître des figures positionnées de manière non prototypique dans une classe, cette amélioration n'a pas été constatée dans l'autre classe.

Nous allons maintenant examiner et analyser les facteurs qui pourraient partiellement expliquer les différences observées entre les deux classes. Tout d'abord, concernant l'expérience des enseignants avec GeoGebra, les deux enseignants avaient des compétences similaires et ont utilisé le logiciel avec une orchestration pédagogique identique dans leurs classes respectives. Il est donc peu probable que ce facteur ait influencé les résultats. Il en va de même pour l'engagement des élèves ; après discussion, nous estimons que les élèves des deux classes se sont montrés volontaires, ont respecté les consignes et ont démontré une bonne assiduité au travail. En revanche, la classe B est plus nombreuse et a travaillé sur des ordinateurs dans la salle informatique, un environnement que les élèves ne connaissaient pas. En nous référant à la théorie de la genèse instrumentale de Rabardel (1995), nous pourrions émettre l'hypothèse que ce changement d'environnement a constitué un obstacle pour certains élèves qui n'ont pas réussi à s'approprier l'ordinateur et le logiciel comme de véritables instruments au service de leur apprentissage. En effet, selon Bétrancourt et Bozelle (2012), les tablettes, avec leurs interfaces tactiles intuitives, présentent des avantages significatifs par rapport aux ordinateurs traditionnels, en particulier en pédagogie spécialisée. Cependant, nous ne pensons pas que cela justifie entièrement la variance observée.

[Hypothèse 2](#)

La déconstruction dimensionnelle, selon Duval et Godin (2005), est un processus cognitif complexe, et notre deuxième hypothèse supposait que GeoGebra y contribuerait positivement.

Durant la première leçon de notre intervention, lors d'un exercice montrant une construction robuste d'un carré, les élèves ont formulé des hypothèses sur les figures projetées. Lorsqu'on leur a demandé comment ils pourraient les vérifier, moins de 30% des élèves ont proposé d'utiliser un instrument pour vérifier les propriétés géométriques des figures, ce qui suggère une compréhension encore perceptive de la géométrie. En revanche, dans l'exercice proposé durant la seconde leçon de notre intervention, les élèves ont observé deux figures placées de manière non prototypique. À la question "Pourquoi ? À quoi le vois-tu ?", près de la moitié des élèves a répondu en utilisant un vocabulaire qui inclut des propriétés géométriques. Cette évolution dans leurs réponses indique une progression vers une approche plus instrumentée de la géométrie. Les élèves réfléchissent moins en termes de formes en 2D, mais plus en termes d'éléments en

1D, comme des droites, ou en 0D, comme des points. De plus, ils réfléchissent aux propriétés géométriques qui lient ces éléments, comme les angles, ce qui démontre une compréhension plus structurée de la géométrie.

Toutefois, les résultats des pré-tests et post-tests, comme évoqué lors de l'évaluation de notre première hypothèse, ne montrent pas une évolution uniforme dans les deux classes. Ces données ne nous permettent donc pas de corroborer pleinement la conclusion établie dans le paragraphe précédent, laquelle est principalement basée sur les résultats spécifiques de notre intervention.

Néanmoins, les données de l'intervention, complétées par nos observations et nos échanges avec les élèves lors des moments collectifs, nous permettent de conclure que la capacité de GeoGebra à conserver les propriétés géométriques des figures lors des manipulations a été favorable aux élèves dans le processus de déconstruction dimensionnelle.

Hypothèse 3

Notre troisième hypothèse anticipait que l'environnement dynamique de GeoGebra améliorerait la compréhension des élèves liées aux notions géométriques.

Cependant, similaires aux résultats des pré-tests et post-tests mentionnés dans l'évaluation de l'hypothèse 2, les données n'ont pas montré de progrès uniformes dans les deux classes. Malgré cela, les réponses obtenues lors de notre intervention, ainsi que nos observations directes, révèlent une évolution dans la capacité des élèves à étayer leurs conclusions concernant les figures géométriques par la vérification de leurs propriétés à l'aide d'instruments.

Ainsi, nous concluons que l'expérience avec GeoGebra, en offrant aux élèves une manipulation concrète et en temps réel des propriétés géométriques de diverses figures, a contribué à améliorer leur compréhension des invariants géométriques. L'environnement dynamique de GeoGebra les a sans doute encouragés à davantage penser en termes de propriétés géométriques et de relations, plutôt qu'en termes de simples figures statiques.

5.2 Difficultés rencontrées

De manière générale, notre projet de recherche s'est extrêmement bien déroulé sans que nous rencontrions de difficultés majeures.

Avant de débiter notre projet, nous avons identifié quelques risques, principalement liés à nos conditions de stage : le degré de nos classes respectives, l'enseignement de la géométrie, et l'accord de la direction pour la mise en œuvre de notre projet. Pour chacun de ces risques identifiés, nous avons établi un plan de mitigation, que nous n'avons heureusement pas dû

mettre en œuvre. En effet, nos stages respectifs se sont déroulés dans des classes de 6P, incluant l'enseignement de la géométrie, et nos directions respectives se sont montrées ravies de notre projet de mémoire.

Notre premier défi a été lié à la disparité en termes d'équipement informatique dans nos deux établissements. En effet, la classe A disposait d'iPads dans la salle de classe, tandis que la classe B avait des ordinateurs dans une salle informatique. Cependant, les versions desktop et iOS du logiciel GeoGebra étant totalement compatibles, nous avons pu utiliser les mêmes fichiers d'exercices et les mêmes supports papier dans les deux classes malgré quelques légères différences visuelles. L'impact de cette différence matérielle a donc été mineur et n'a pas influencé notre projet.

Un élément, toujours en lien avec l'aspect du numérique, qui a été plus compliqué à gérer, concerne le déploiement des fichiers d'exercices sur les tablettes ou les postes des élèves. La plate-forme "GeoGebra classroom" offre aux enseignants la possibilité d'assigner des exercices à leurs élèves, ainsi que d'autres fonctionnalités collaboratives. Cependant, nous avons trouvé que l'effort pour mettre en place cette modalité était trop important par rapport au temps que nous avons prévu pour l'utilisation du logiciel. Par conséquent, nous avons transféré manuellement les exercices via AirDrop vers les tablettes et à l'aide d'une clé USB vers les ordinateurs des élèves. Cela a été inclus dans nos planifications afin que tout soit prêt et pour éviter de perdre du temps au début des leçons.

Finalement, le plus grand défi rencontré dans les deux classes a été de mener seul les leçons de l'intervention. D'une part, nous avons dû gérer l'enthousiasme des élèves vis-à-vis du travail avec le numérique et pour les activités proposées. D'autre part, il a été difficile d'adapter le rythme d'apprentissage aux besoins individuels des élèves ou de les suivre de près dans leur travail sur les exercices. Cette configuration a probablement été suboptimale et n'a pas permis d'exploiter pleinement le potentiel de GeoGebra dans l'enseignement de la géométrie. En nous basant sur notre expérience, nous pensons que pour maximiser les bénéfices que peut apporter un logiciel de géométrie dynamique, les premières leçons devraient être menées par plusieurs enseignants afin de pouvoir offrir un accompagnement pédagogique attentif à tous les élèves. Cela est particulièrement important pour les élèves plus jeunes et peu habitués à évoluer dans un environnement où le numérique fait partie intégrante de l'enseignement.

5.3 Apports et limites

Notre projet a permis à nos élèves d'utiliser des technologies numériques, omniprésentes dans tous les domaines d'activités du 21^e siècle. En initiant nos classes à des outils numériques avancés, nous avons commencé à les doter de compétences essentielles, souvent requises pour naviguer efficacement dans le monde professionnel. L'intégration d'un logiciel de géométrie dynamique à notre enseignement est donc parfaitement pertinente et alignée avec les exigences actuelles et futures, aussi bien dans le monde professionnel qu'académique.

L'utilisation de GeoGebra pour enseigner la géométrie à des élèves de 6^P, relativement jeunes, est un apport majeur de notre travail. Notre intervention n'avait pas comme but de travailler des notions géométriques complexes, mais plutôt de faciliter le passage de la géométrie perceptive à la géométrie instrumentée. Ce passage, lors du passage des élèves du cycle 1 au cycle 2, est une étape clé dans l'apprentissage de la géométrie. Proposer une approche plus interactive et intégrant les nouvelles technologies avec comme objectif de rendre l'apprentissage plus tangible et intuitif pour les élèves est un aspect particulièrement intéressant.

Un autre apport de notre mémoire réside dans le changement de rôle de l'élève. En manipulant directement les objets géométriques dans GeoGebra, les élèves ont eu un retour immédiat sur leurs actions, les incitant ainsi à explorer, expérimenter, et à faire des essais et erreurs pour mettre en œuvre leurs stratégies. Cette approche encourage donc la pensée critique, mais elle renforce également les compétences en résolution de problèmes. Ces éléments soulignent l'importance de l'intégration des outils numériques dans la géométrie, et dans l'enseignement plus globalement.

Néanmoins, notre étude présente aussi plusieurs limites qui se doivent d'être soulignées. Premièrement, notre étude présente la limitation d'une taille réduite de l'échantillon. Avec seulement 36 élèves, cette taille est trop faible pour nous permettre de généraliser les résultats. Des études supplémentaires impliquant un panel plus large sont nécessaires pour étendre et confirmer nos résultats.

De plus, l'absence de groupe témoin dans notre approche limite notre capacité à mesurer avec précision l'impact spécifique de GeoGebra. Il est donc important que les futures recherches intègrent un groupe témoin pour permettre d'effectuer une comparaison valide et fiable des améliorations attribuables à l'utilisation du logiciel.

Un autre point critique est la durée limitée de l'utilisation de GeoGebra, sur seulement deux leçons de nonante minutes. Cette contrainte liée au temps que nous avons à disposition ne rend

pas possible l'observation d'effets significatifs et durables sur les compétences géométriques des élèves. Une utilisation plus longue, s'étendant sur plusieurs mois, pourrait offrir une perspective bien plus complète des bénéfices potentiels du logiciel.

Une limite de notre mémoire réside dans la qualité du pré-test et du post-test, qui présentent des résultats nuancés car ces tests ne montrent pas réellement ce que nous souhaitons mesurer. Par exemple, dans l'exercice 3 du pré-test, où les élèves devaient identifier la figure géométrique en fonction des caractéristiques données, nous avons induit les élèves à donner la réponse « losange » pour la première description en écrivant : « mes angles ne sont pas nécessairement droits. » Si nous avions seulement écrit : « Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. », il aurait été intéressant de voir si les élèves répondaient uniquement « carré » ou « losange », ou s'ils mentionnaient les deux figures. De plus, comme dit précédemment, nous n'avons pas utilisé l'exercice 2 dans le cadre de notre recherche. Il est possible que les tâches ne permettent pas tout à fait de rendre compte des paradigmes géométriques. Nous réalisons donc que le post-test est une limite pour mesurer l'impact de notre séquence sur les apprentissages des élèves.

Enfin, les compétences initiales des élèves et des enseignants dans le domaine numérique constituent également une limite. Nos élèves avaient peu d'expérience avec les technologies numériques, ce qui a dévié une partie de leur charge cognitive vers la familiarisation et l'appropriation des outils numériques au lieu de se concentrer pleinement sur la géométrie. De même, les compétences technologiques chez les enseignants pourraient influencer sur l'efficacité de l'implémentation de GeoGebra. Ce point souligne l'importance d'une formation adéquate pour les enseignants, afin de maximiser les avantages des outils numériques.

5.4 Perspectives

Perspectives pédagogiques

L'intégration de logiciels de géométrie dynamique tels que GeoGebra dans l'enseignement de la géométrie présente des opportunités indéniables pour renforcer l'engagement et la compréhension des élèves.

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre, précédent, GeoGebra, avec ses fonctionnalités interactives, permet aux élèves de visualiser et de manipuler des figures géométriques en temps réel, et offre ainsi des retours immédiats qui facilitent l'autoévaluation. Cette possibilité de tester et de modifier leurs constructions à plusieurs reprises sans devoir attendre la validation de l'enseignant encourage les élèves à apprendre par l'erreur et à explorer les concepts

géométriques de manière plus autonome. Toutefois, un scénario didactique mûrement réfléchi, fondé sur une orchestration appropriée, est une condition sine qua non pour tirer pleinement profit d'un logiciel de géométrie dynamique. Il en va de même pour la disponibilité de l'enseignant, nécessaire pour clarifier et expliquer les concepts rapidement et ainsi éviter les malentendus. Sans un encadrement adéquat, certains élèves pourraient ne pas tirer pleinement parti de ces apprentissages réalisés de manière plus autonome.

GeoGebra offre une palette étendue de fonctionnalités géométriques puissantes que nous n'avons pas explorées dans le cadre de notre projet. D'après ce que nous avons pu observer, beaucoup de ces fonctionnalités pourraient être pédagogiquement intéressantes, en particulier pour des élèves un peu plus âgés. Cela dit, indépendamment des fonctionnalités de GeoGebra utilisées ou du niveau de connaissance des élèves, la création de guides pédagogiques explicitant des stratégies, ainsi que des astuces et conseils pour l'utilisation du logiciel, serait une base nécessaire pour les enseignants souhaitant intégrer l'usage régulier de GeoGebra dans leur enseignement de la géométrie.

[Perspectives de recherche](#)

Au-delà des perspectives pédagogiques qu'offrent les logiciels de géométrie dynamique, notre recherche, comme évoqué dans le chapitre précédent, présente certaines limites. Pour approfondir le sujet, il serait nécessaire de mettre en place une étude plus prolongée, incluant une classe témoin. Cela permettrait de distinguer les effets spécifiques du logiciel sur l'apprentissage des élèves par rapport aux méthodes d'enseignement traditionnelles, utilisant principalement papier et crayon. L'intégration d'un groupe témoin faciliterait l'observation et la quantification précises des bénéfices de GeoGebra sur l'évolution des compétences, la compréhension des concepts géométriques, et la motivation des élèves vis-à-vis du numérique. Une étude de plus grande envergure, y compris sur le plan géographique, permettrait de contrôler des variables externes susceptibles d'influencer les résultats, telles que le niveau socio-économique des élèves ou leur accès à la technologie en dehors de l'école.

La question du support numérique idéal pour l'utilisation de logiciels pédagogiques tels que GeoGebra mérite également une investigation approfondie. En effet, l'utilisation de tablettes et d'iPad pourrait révéler des différences significatives en termes d'ergonomie, d'accessibilité et d'efficacité dans l'enseignement et l'apprentissage. Des recherches ultérieures explorant les avantages et les inconvénients de chaque dispositif pourraient aider à identifier les modalités les plus efficaces pour engager les élèves et maximiser leur interaction avec le logiciel. Cette

recherche pourrait aussi inclure une analyse des préférences des élèves et des enseignants, ainsi que des évaluations de la facilité d'utilisation et de l'impact de chaque type de dispositif sur la motivation des élèves.

Pour terminer, nous pensons qu'une recherche focalisée sur les ressources et les méthodes pour guider et former les enseignants dans l'utilisation optimale de ces technologies serait bénéfique. En effet, durant notre projet, bien que nous ayons eu accès à du matériel plutôt technique expliquant le fonctionnement du logiciel, nous n'avons trouvé que très peu de littérature, de guides pédagogiques, de vidéos ou d'autres supports destinés à aider les enseignants à mieux intégrer GeoGebra dans leur enseignement. Une étude visant à mieux comprendre les besoins des enseignants et à identifier les meilleures façons de les former, suivant leur niveau de maîtrise des nouvelles technologies, serait selon nous pertinente et utile. Cette recherche devrait offrir des stratégies adaptées, des astuces et des conseils pertinents à divers contextes éducatifs.

6 CONCLUSION

Dans cette dernière partie, nous allons conclure notre mémoire en élargissant notre réflexion. Au début de cette recherche, nos connaissances en géométrie et plus particulièrement sur les logiciels de géométrie dynamique étaient élémentaires. Les recherches et lectures que nous avons effectuées nous ont permis d'acquérir et d'approfondir notre compréhension de ces sujets, établissant ainsi un cadre théorique solide pour notre travail. Ces nouvelles connaissances ont servi de fondement à la formulation de notre questionnement et de nos hypothèses. Nous avons ensuite mis en œuvre une séquence d'enseignement de plusieurs semaines dans nos classes respectives pour expérimenter et recueillir des données. Ces données ont été analysées et mises en lien avec les éléments théoriques recueillis lors de nos lectures, afin de répondre aux hypothèses formulées. Notre parcours, à travers ces différentes étapes, nous permet maintenant de mieux comprendre les principaux aspects et implications de notre sujet, ainsi que les enjeux associés. Notre étude apporte quelques éléments de réponse, mais comme décrit dans la partie discussion, limites et apports, elle constitue davantage une base pour une réflexion plus approfondie. Nos résultats ne sont pas définitifs et visent à encourager une réflexion plus large.

Notre problématique portait sur l'impact de l'utilisation de GeoGebra pour faciliter la transition des élèves d'une géométrie perceptive à une géométrie instrumentée. Cette question est cruciale, car elle touche à un changement fondamental dans l'apprentissage de la géométrie au niveau primaire. Ce travail s'inscrit dans un contexte où l'intégration des outils numériques en éducation est devenue impérative pour répondre aux besoins pédagogiques actuels et préparer

les élèves à un environnement technologiquement avancé. Notre recherche s'est concentrée sur la manière dont GeoGebra peut aider les élèves à visualiser et comprendre les propriétés géométriques des figures, une compétence essentielle qui peut être difficile à acquérir avec des méthodes d'enseignement plus traditionnelles.

Nous avons formulé trois hypothèses principales pour cette étude : premièrement, que GeoGebra favoriserait la capacité des élèves à raisonner en termes de propriétés géométriques et à les vérifier à l'aide d'instruments numériques ou traditionnels ; deuxièmement, que le logiciel faciliterait la déconstruction dimensionnelle des figures ; et troisièmement, que l'environnement dynamique de GeoGebra encouragerait une compréhension plus approfondie des notions géométriques. Pour mettre ces hypothèses à l'épreuve, nous avons mené une séquence d'enseignement dans nos deux classes de 6P dans le canton de Vaud, en utilisant une démarche quasi-expérimentale sans groupe témoin. Les élèves ont participé à des activités structurées autour de GeoGebra, nous permettant d'observer les changements dans leur capacité à identifier et manipuler des figures géométriques. Les résultats de notre étude, prenant en compte les élèves des deux classes, montrent une amélioration dans leur capacité à reconnaître et à manipuler des figures géométriques avec l'aide de GeoGebra. Plus précisément, les élèves ont montré une plus grande facilité dans leur capacité à décomposer et analyser les figures en termes de propriétés géométriques, tout en saisissant mieux les relations entre ces propriétés. Toutefois, comme expliqué dans le chapitre sur la discussion, sous la section "Limites et apports", notre étude a été menée avec un nombre réduit d'élèves et sur une courte période. Il serait donc nécessaire de conduire des recherches supplémentaires avant de pouvoir généraliser ces résultats.

Ces recherches devraient se concentrer sur l'optimisation de l'utilisation des logiciels de géométrie dynamique pour renforcer l'apprentissage géométrique, en particulier dans l'enseignement primaire. L'utilisation de ces outils implique et garantit que les élèves adoptent un rôle actif dans leur formation. En étant directement impliqués dans l'exploration et la manipulation des concepts géométriques, les élèves deviennent les principaux acteurs de leur apprentissage. Cette participation active est cruciale, car elle stimule non seulement leur engagement, mais sert également de moteur pour un apprentissage plus profond et significatif. La poursuite de l'exploration de ces questions permettrait de développer une compréhension plus approfondie de la manière dont la technologie peut non seulement soutenir, mais également enrichir l'apprentissage de la géométrie chez les élèves.

Pour conclure, nous espérons vivement que notre mémoire encouragera les futurs enseignants à adopter des innovations dans leur enseignement de la géométrie, afin de le rendre plus engageant et accessible, tout en éveillant chez les enfants le plaisir de la découverte. Notre travail est le début d'une réflexion plus large sur l'importance de diversifier les ressources pédagogiques et d'intégrer les connaissances de manière réfléchie dans les programmes d'enseignement.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Amadori, C., & Hairon, E., (2018). Le passage de la géométrie physique à la géométrie théorique au cycle 3. In M. Abboud (Ed.), *Mathématiques en scène, des ponts entre les disciplines. Actes du Colloque Espace Mathématique Francophone (EMF 2018)* (pp. 1426-1432). IREM de Paris.
- Assude, T., & Gelis, J-M. (2002). La dialectique ancien-nouveau dans l'intégration de CABRI-Géométrie à l'école primaire. *Educational Studies in Mathematics*, 50, 259-287.
- Berthelot, R., & Salin M-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies-Bordeaux.
- Braconnet-Michoux, A. (2014). Les niveaux de pensée en géométrie de van Hiele : de la théorie à l'épreuve en classe. *Bulletin de l'association mathématique de Québec*, pp. 24-25.
- Bétrancourt, M. & Bozelle, C. (2012). Les MITIC au service de la pédagogie spécialisée : mieux connaître leur spécificité pour développer des usages éducatifs pertinents. *Revue suisse de pédagogie spécialisée*, n°4, pp.15-23.
- Charney, R., (20013). Conférence de M. Roland Charnay 13 mars 2013 : géométrie perceptive, instrumentalisée et déductive. Académie de Dijon
- CIIP Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse Romande et du Tessin. (2023). *Espace des moyens d'enseignement romands*. Récupéré sur Espace des moyens d'enseignement romands : <https://www.ciip-esper.ch/#/>
- CIIP Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse Romande et du Tessin. (2023). *Plan d'études romand (PER)*. Récupéré sur Plan d'études romand : <https://portail.ciip.ch/per/domains>
- CIIP Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse Romande et du Tessin. (2021). *LE PLAN D'ETUDES ROMAND S'ENRICHIT DE L'ÉDUCATION NUMÉRIQUE*. Récupéré sur CIIP Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse Romande et du Tessin: https://www.ciip.ch/files/2/Comm_presse_CIIP_PER-EdNum_2021-04.pdf
- Duval, R. (2005). Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie : développement de la visualisation, différenciation des raisonnements et coordination de leurs fonctionnements. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, n°10, pp. 5-53.
- Duval, R., & Godin, M. (2005). Les changements de regard nécessaires sur les figures. *Grand N* n°76, pp. 7-27.

- Drijvers, P., & Tacoma, S., & Besamusca, A., & Doorman, M., & Boon, P. (2013). Digital resources inviting changes in mid-adopting teachers' practices and orchestrations. *ZDM Mathematics Education*, pp. 987-1000
- Houdement, C., (2009). De nouveaux savoirs en géométrie pour les enseignants ? *EMF, Espace Mathématique Francophone*, Apr 2009, Dakar, Sénégal. pp.437-448.
- Houdement, C., Kuzniak, A. (2006) Paradigmes géométriques et enseignement de la géométrie. *Annales de Didactiques et de Sciences Cognitives n°11*, pp.175-193
- Laborde, C., & Capponi, B. (1994). Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques, n°14 (1.2)*, pp. 165–210.
- Laurens, C. (2021, mai). *La géométrie dynamique en action*. <https://tangente-mag.com/article.php?id=6277#:~:text=D%C3%A9velopp%C3%A9en%202002%20par%20un,Hohenwarter%2C%20le%20cr%C3%A9ateur%20du%20logiciel>.
- LeRobert, dico en ligne (n.d). Géométrie, In *LeRobert dico en ligne*. Retrieved April 26, 2024, from <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/geometrie>
- Ministère de l'éducation nationale. (2018). *Les logiciels de géométrie dynamiques*. Récupéré sur Eduscol: <https://eduscol.education.fr/document/16081/download>
- Perrin-Glorian, M.-J. (2005). Pour situer le travail de notre groupe de recherche. In C. Castela et C. Houdement (Eds.) *Actes du Séminaire national de didactique des mathématiques année 2004 (pp. 39-76)*. Paris : RDM IREM.
- Perrin-Glorian, M.J., Mathé, A.-C. & Leclercq, R. (2013). Comment peut-on penser la continuité de l'enseignement de la géométrie de 6 à 15 ans ? *Repères-IREM, 90, 5-41*.
- Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains. Armand Colin.
- Rocher, J.-Y. (2017). Vygotski : une conception dialectique du développement. *La Pensée*, pp. 50-64.
- Salin, M-H. (2005). Que peut nous apprendre l'observation d'élèves de 11 ans confrontés à un problème "spatio-géométrique" ? *Math-Ecole n°222, pp. 4-9*
- Shadish, W., Cook, T., & Campbell, D. (2001). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference*. Cengage Learning.

Soury-Lavergne, S., (2011). De l'intérêt des constructions molles en géométrie dynamique. MathémaTICE Les nouvelles technologies pour l'enseignement des mathématiques, 2011, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article364>.

Techno Sciences. (s.d). *Géométrie-Définition*. <https://www.techno-science.net/definition/5360.html>

Trouche, L. (2003). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches Université Paris VII*.

8 ANNEXES

8.1 Annexe 1 : Evaluation diagnostique

prénom _____

Evaluation-diagnostique : connaissance des figures géométriques

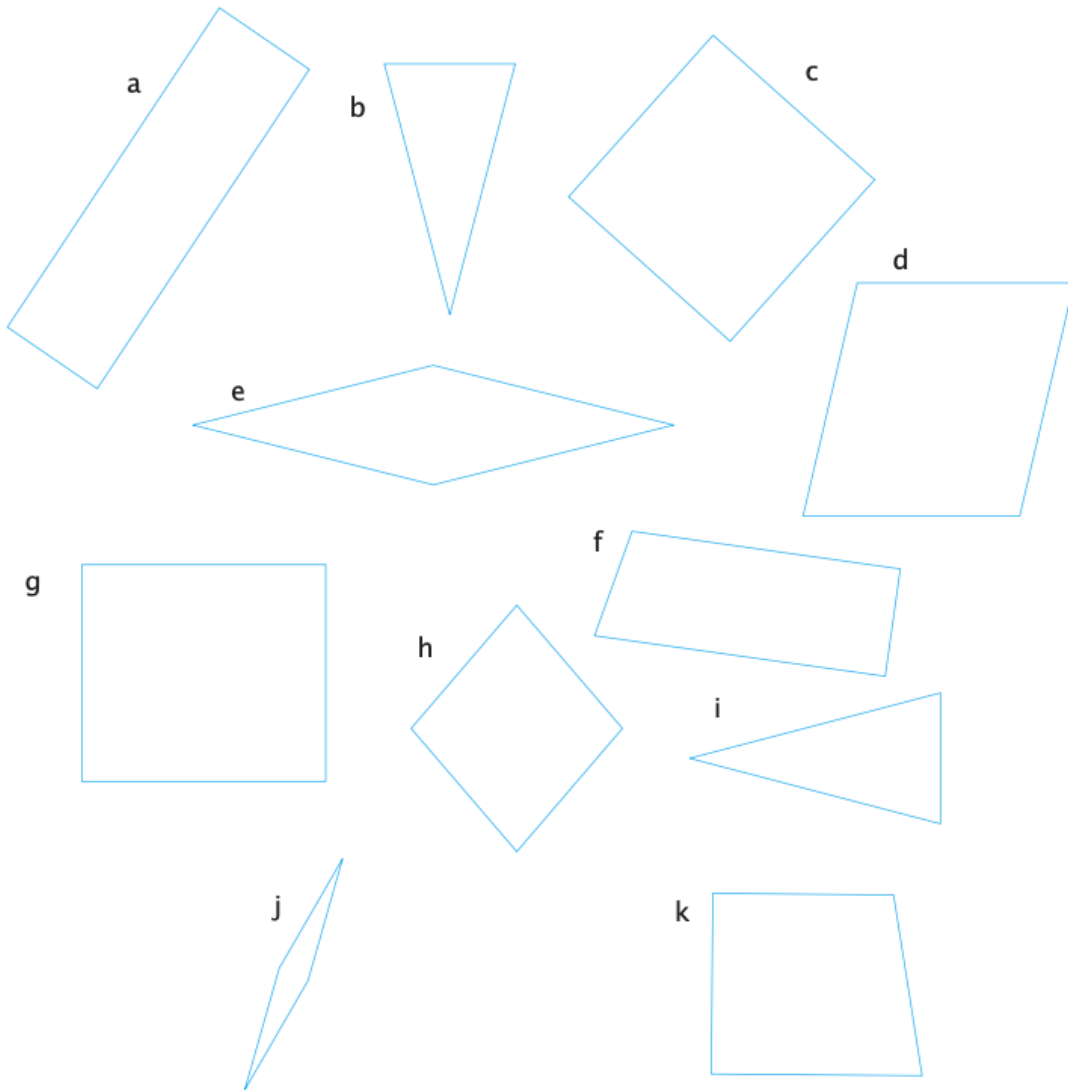
1 Parmi les figures suivantes, lesquelles sont :

des carrés? _____

des rectangles? _____

des losanges? _____

des triangles? _____



- 1 -

2 Parmi les affirmations suivantes, coche celles qui sont correctes :

- Un triangle peut avoir trois côtés de même longueur.
- Un rectangle peut être un carré.
- Tous les angles d'un rectangle sont droits (à 90 degrés).
- Les côtés opposés d'un carré sont parallèles.
- Un carré peut être un rectangle.
- Les côtés d'un triangle peuvent avoir des longueurs différentes.
- Un losange a quatre côtés de longueur égale.

3 Identifie la figure géométrique en fonction des caractéristiques données :

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur, mais mes angles ne sont pas nécessairement droits.

Qui suis-je ? _____

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles, et j'ai 4 angles droits. Cependant, mes côtés peuvent avoir des longueurs différentes.

Qui suis-je ? _____

Je suis un quadrilatère. Mes côtés opposés sont parallèles et tous mes côtés ont la même longueur. J'ai également 4 angles droits.

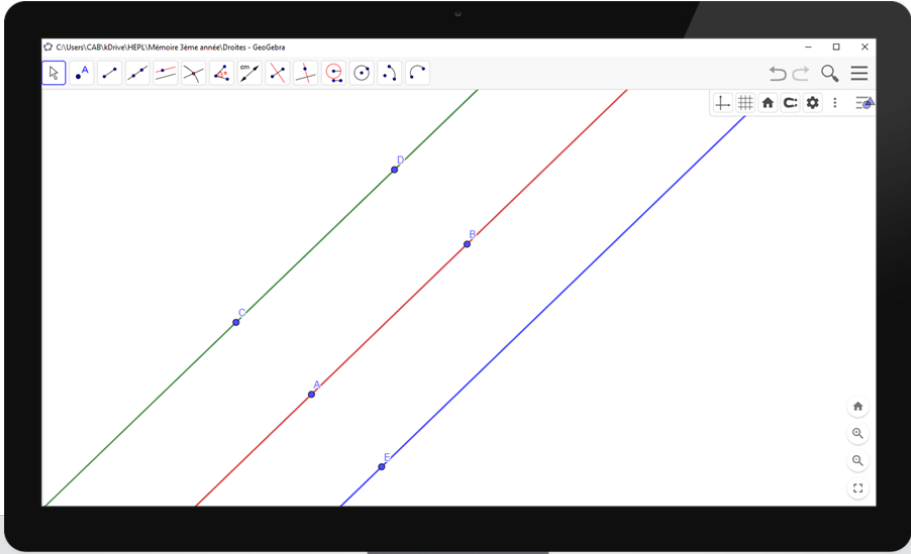
Qui suis-je ? _____



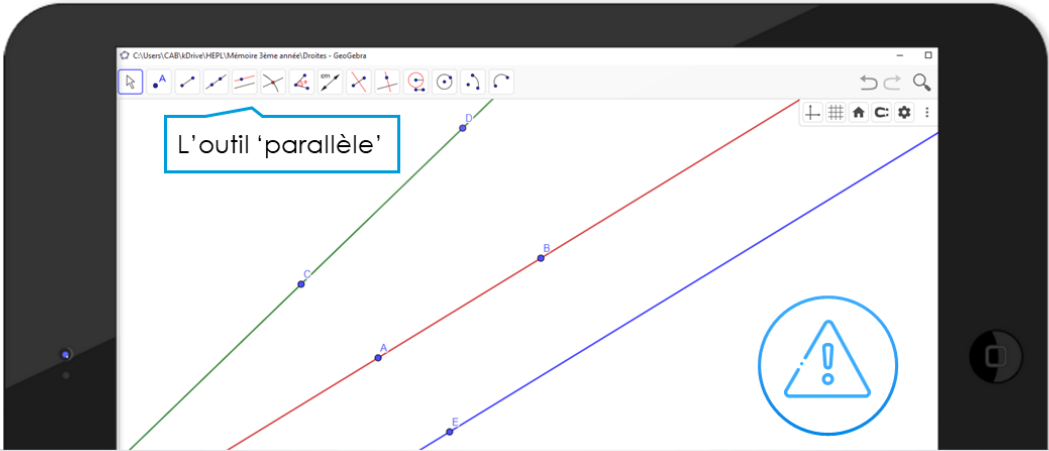
8.2 Annexe 2 : Fiches de l'élève pour la leçon 1

GeoGebra

Que peux-tu dire de ces droites ?



L'utilisation des outils dans GeoGebra



La droite bleue a été construite en utilisant l'outil 'parallèle'.
Si les points 'A', 'B' ou 'C' bougent, les droites bleues et rouges resteront parallèles.
Ce n'est pas le cas pour la droite verte qui a été créée indépendamment.

1

GeoGebra : l'écran principal

Si tu veux annuler une action, clique sur la flèche qui va en arrière

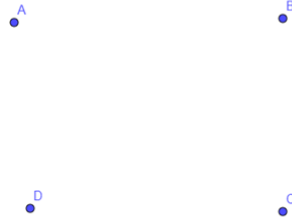
Clique sur l'outil que tu souhaites utiliser

espace dans lequel tu pourras créer tes objets

Utilise le + ou le - pour agrandir ou rétrécir les objets

Exercice 1 : construire un quadrilatère

Sélectionne l'outil 'Point', puis crée 4 points.



Ces points te serviront pour la construction de ton quadrilatère.

Exercice 2 : relie les points avec des segments

1) Sélectionne l'outil 'segment'.

2) Relie les points 'A et B' entre eux en cliquant successivement sur chacun des points. Fais de même pour les points 'B et C', 'C et D' et 'D et A'.

Exercice 3 : afficher la longueur du segment BC

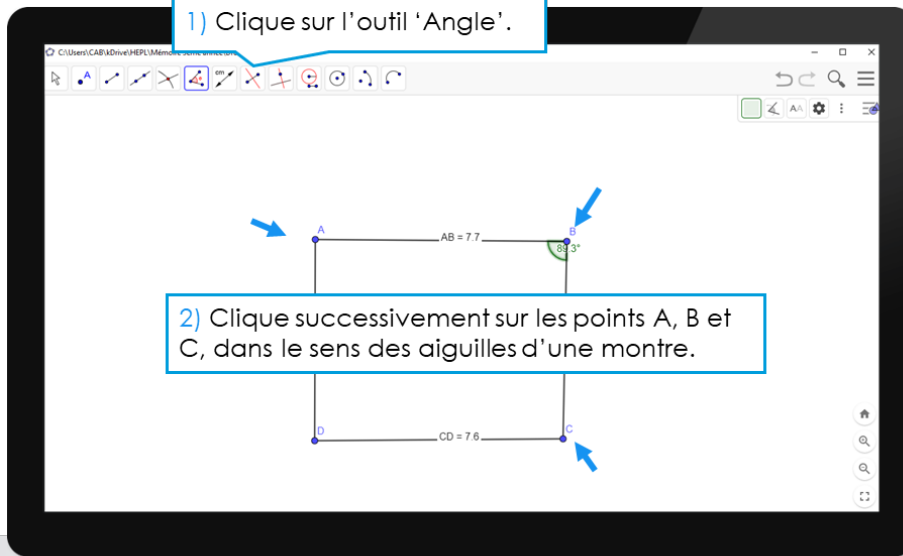
1) Sélectionne l'outil 'Distance ou Longueur'.

2) Affiche la longueur entre les points 'A et B' en cliquant successivement sur chacun des points. Fais de même pour les autres segments.

Dans cet exemple, la longueur du segment AB est de 7.7 centimètres.

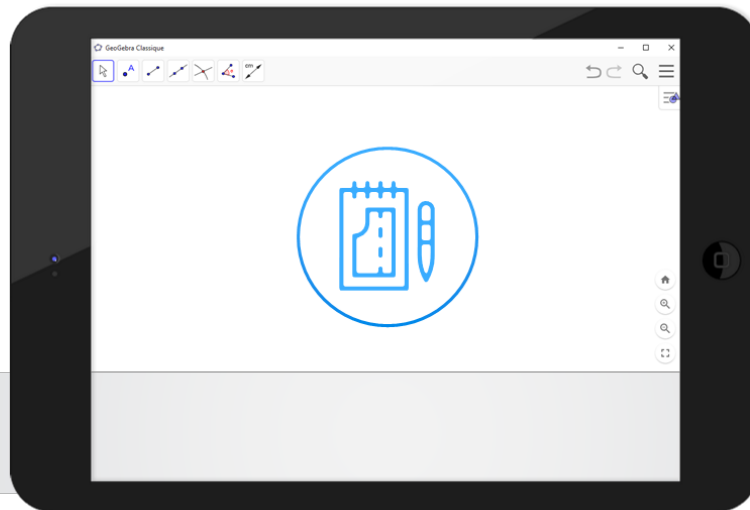
Exercice 4 : afficher la valeur de l'angle BCD

1) Clique sur l'outil 'Angle'.

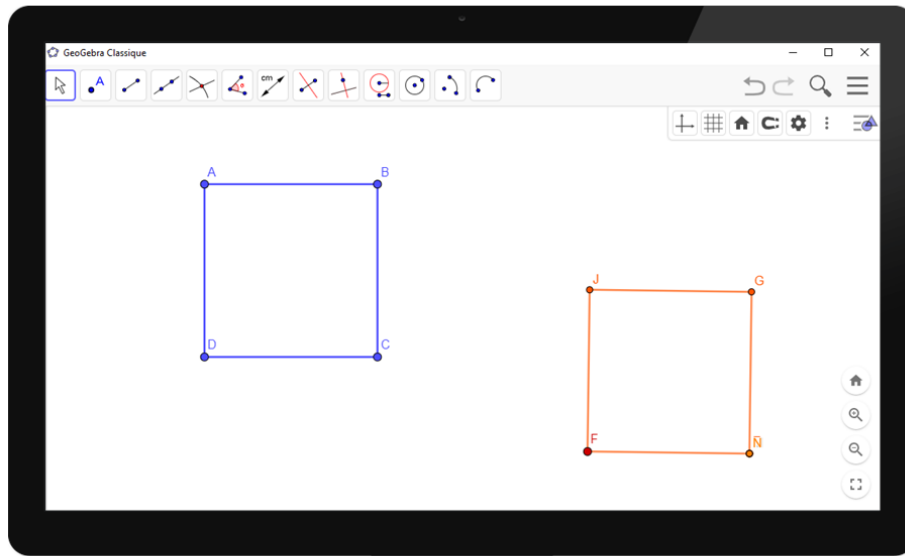


Dans cet exemple, l'angle ABC est de 89 degrés.

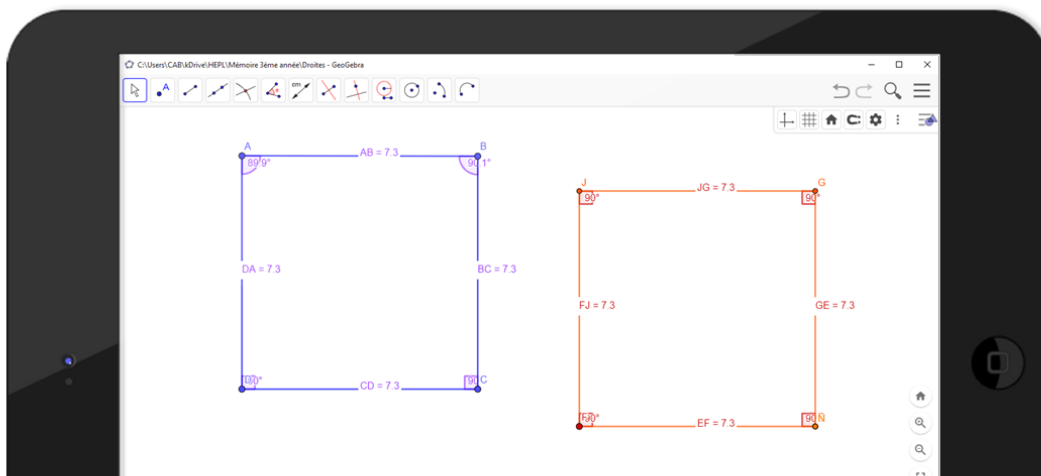
Exercice 5 : utilise les outils librement pour créer la figure de ton choix



Quelles figures géométriques vois-tu ?



Quelques propriétés ...



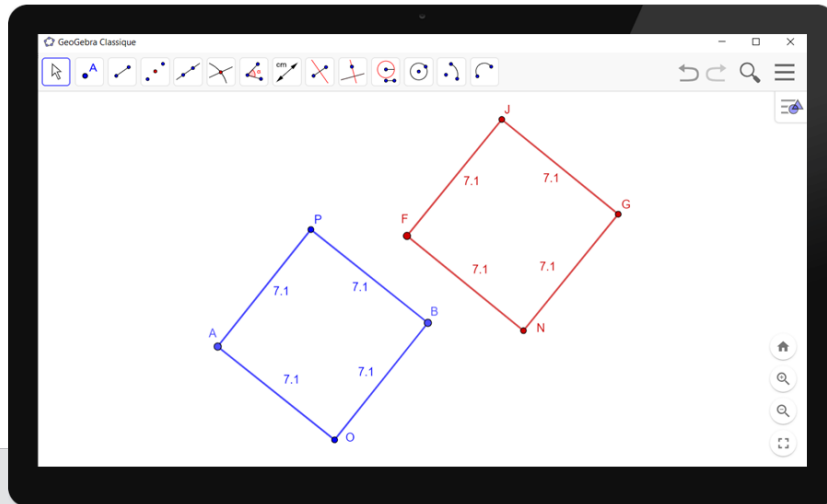
Des carrés, vraiment ? faisons un petit test

8.3 Annexe 3 : Fiches de l'élève pour la leçon 2

Prénom : _____

GeoGebra – leçon 2

Que peux-tu dire de ces deux figures ?

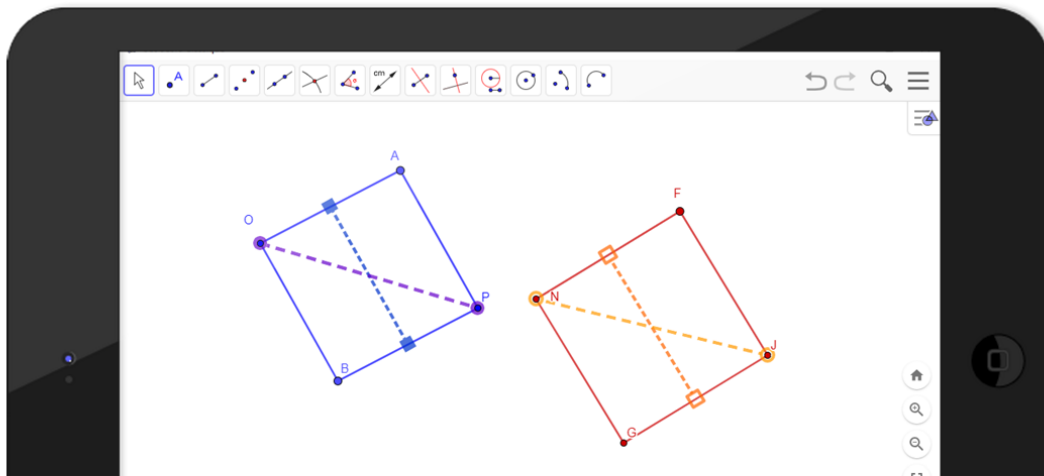


- Que vois-tu à l'écran ?

- Comment pourrait-on le vérifier ?

- Que penses-tu qu'il se passera si on bouge les points des figures affichées ?

Observons les axes de symétrie de ces deux figures.



- Combien d'axes de symétries pour le carré pour le losange ?

- Que penses-tu qu'il se passera si on bouge les points des figures affichées ?
